



Май И.В., Клейн С.В., Максимова Е.В., Балашов С.Ю., Цинкер М.Ю.

Гигиеническая оценка ситуации и анализ риска для здоровья населения как информационная основа организации мониторинга и формирования комплексных планов воздухоохраных мероприятий федерального проекта «Чистый воздух»

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 614045, Пермь, Россия

Введение. Безопасность среды обитания и здоровье населения являются важными факторами социально-экономического развития общества. Для уменьшения объёма выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и улучшения условий проживания жителей загрязнённых городов разработан федеральный проект «Чистый воздух». Анализ эффективности и результативности воздухоохраных мероприятий по критериям риска здоровью населения является приоритетной задачей для достижения условий проекта и обеспечения безопасной среды обитания.

Материалы и методы. Исходной информацией для гигиенической оценки рисков для здоровья населения г. Братска являлись данные натурных измерений качества атмосферного воздуха в рамках экологического и социально-гигиенического мониторинга и сводные расчёты рассеивания выбросов стационарных и передвижных источников.

Результаты. Установлено, что по результатам гигиенической оценки и оценки риска здоровью выделено 13 приоритетных примесей для включения в программу систематического мониторинга.

Заключение. Анализ мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух по критериям риска здоровью позволил установить, что в целом направления мероприятий являются адекватными перечню приоритетных факторов риска для здоровья горожан. Оценки результативности и эффективности целесообразно дополнить материалами, содержащими данные о конкретных источниках выбросов, на которых планируется реализовать мероприятия; дополнять оценку рисков для здоровья данными о фактической заболеваемости населения на территории города, а также проводить оценку и обсуждение с хозяйствующими субъектами результатов оценки рисков здоровью, всех выявленных несоответствий между декларируемыми выбросами, расчётными уровнями загрязнения и реальной санитарно-гигиенической ситуацией в городе.

Ключевые слова: федеральный проект «Чистый воздух»; загрязнение атмосферного воздуха; мониторинг качества атмосферного воздуха; оценка риска здоровью населения; программа мониторинга

Для цитирования: Май И.В., Клейн С.В., Максимова Е.В., Балашов С.Ю., Цинкер М.Ю. Гигиеническая оценка ситуации и анализ риска для здоровья населения как информационная основа организации мониторинга и формирования комплексных планов воздухоохраных мероприятий федерального проекта «Чистый воздух». *Гигиена и санитария*. 2021; 100(10): 1043-1051. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-10-1043-1051>

Для корреспонденции: Максимова Екатерина Вадимовна, мл. науч. сотр. отд. системных методов санитарно-гигиенического анализа и мониторинга ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», 614045, Пермь. E-mail: maksimova@fcrisk.ru

Участие авторов: Май И.В. – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста, редактирование; Клейн С.В. – написание текста, редактирование; Максимова Е.В. – сбор и обработка материала, написание текста; Балашов С.Ю. – сбор и статистическая обработка материала, написание текста; Цинкер М.Ю. – сбор и статистическая обработка материала, написание текста. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

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

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила 24.09.2021 / Принята к печати 28.09.2021 / Опубликовано 31.10.2021

Irina V. May, Svetlana V. Kleyn, Ekaterina V. Maksimova, Stanislav Yu. Balashov, Mihail Yu. Tsinker

Hygienic assessment of the situation and analysis of the health risk of the population as an information basis for the management of monitoring and the formation of complex plans for air protection measures of the federal project "Clean Air"

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

Introduction. The quality of the environment and the health of the population are the main factors in the socio-economic development of society. To reduce the volume of emissions of pollutants into the atmosphere and improve the living conditions of residents of contaminated cities, a federal project, "Clean Air" has been developed. Analysis of the efficiency and effectiveness of air protection measures according to public health risk criteria is a priority task for achieving the project conditions and ensuring a safe living environment.

Materials and methods. The initial information for the hygienic assessment and health risks of the city of Bratsk was the data of in-situ measurements of the quality of atmospheric air within the framework of environmental and socio-hygienic monitoring and summary calculations of the dispersion of emissions from stationary and mobile sources.

Results. According to the hygienic assessment and health risk assessment, 13 priority impurities were identified for inclusion in the systematic monitoring program.

Conclusion. Analysis of measures to reduce emissions of pollutants into the air by health risk criteria made it possible to establish that, in general, the directions of efforts are adequate to the list of priority risk factors for the health of citizens. For the correct assessment of the effectiveness and efficiency, it is advisable to supplement

with materials containing data on specific emission sources on which it is planned to implement measures; supplying the assessment of health risks with data on the actual morbidity of the population in the city; as well as to assess and discuss with business entities the results of health risk assessment, all identified discrepancies between declared emissions, calculated levels of pollution and the real sanitary and hygienic situation in the city.

Keywords: Federal project "Clean Air"; air pollution; air quality monitoring; public health risk assessment; monitoring program

For citation: May I.V., Kleyn S.V., Maksimova E.V., Balashov S.Yu., Tsinker M.Yu. Hygienic assessment of the situation and analysis of the health risk of the population as an information basis for the management of monitoring and the formation of complex plans for air protection measures of the federal project "Clean Air". *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*, 2021; 100(10): 1043-1051. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-10-1043-1051> (In Russ.)

For correspondence: Ekaterina V. Maksimova, MD, Junior Researcher of Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russia. E-mail: maksimova@fcrisk.ru

Information about authors:

May I.V., <https://orcid.org/0000-0003-0976-7016> Maksimova E.V., <https://orcid.org/0000-0001-5714-9955> Kleyn S.V., <https://orcid.org/0000-0002-2534-5713>
Balashov S.Yu., <https://orcid.org/0000-0002-6923-0539> Tsinker M.Yu., <https://orcid.org/0000-0002-2639-5368>

Contribution: May I.V. – the concept and design of the study; collection and processing of material; writing a text, editing; Kleyn S.V. – writing a text; editing; Maksimova E.V. – collection and processing of material; writing a text; Balashov S.Yu. – collection and statistical processing of material; writing a text; Tsinker M.Yu. – collection and processing of material; writing a text. 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.

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: September 24, 2021 / Accepted: September 28, 2021 / Published: October 31, 2021

Введение

Федеральный проект «Чистый воздух» предполагает поэтапное достижение кардинального улучшения качества атмосферного воздуха в городах, включённых в проект, с перспективой тиражирования опыта на иные урбанизированные территории страны. В качестве ключевой задачи проекта ставится «...снижение уровня загрязнения атмосферного воздуха в крупных промышленных центрах, в том числе уменьшение не менее чем на 20 процентов совокупного объёма выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в наиболее загрязнённых городах». Притом что сохранение природного компонентного состава воздуха является актуальной задачей, снижение вредного воздействия на население рассматривается в качестве стратегического приоритета государства при реализации экологических программ. Здоровье и санитарно-эпидемиологическое благополучие граждан страны остаются главными охраняемыми ценностями, залогом и экономического, и социального роста общества [1, 2].

Негативное влияние загрязнения атмосферного воздуха на смертность и заболеваемость населения доказано многочисленными научными исследованиями как в России, так и за рубежом [3–6]. Заболевания органов дыхания, иммунной и эндокринной систем, патологии развития, системные нарушения – это далеко не полный перечень ответов со стороны здоровья, которые формируются под влиянием выбросов промышленности, транспорта, объектов коммунальной сферы и ряда природных факторов (например, пыление) [7–10]. Целый ряд техногенных канцерогенных примесей (соединения хрома, никеля, мышьяка, бенз(а)пирена, бензола и т. п.) формируют угрозы роста онкологических заболеваний [11–15]. Согласно опубликованным данным, только в 2018 году в стране с вредным влиянием атмосферного воздуха вероятностно связано около 2,4 тыс. случаев смерти и порядка 863,5 тыс. заболеваний детского и взрослого населения, которых можно было бы избежать в условиях отсутствия загрязнения [16].

С учётом того, что в качестве критерия результативности и эффективности мероприятий проекта «Чистый воздух» следует рассматривать здоровье населения, объёмы и содержание воздухоохраняющих мероприятий должны быть строго обоснованы и просчитаны. Снижение суммарного валового выброса вредных веществ на заданную величину без учёта ожидаемых ответов со стороны здоровья населения далеко не всегда может привести к кардинальному улучшению санитарно-гигиенической ситуации и снять то социальное напряжение, которое формируется неудовлетворённостью горожан качеством атмосферного воздуха. В силу того, что планы по реализации проекта предполагают развитие, уточнение и внесение изменений и коррективов, представляется крайне важным выполнить анализ

результативности и эффективности мероприятий по критериям здоровья населения. Последнее не отменяет оценок результативности мер по экологическим, технологическим или иным критериям.

Оценка риска для здоровья населения как один из методов гигиенических оценок является эффективным и общепотребительным инструментом анализа и прогноза санитарной ситуации и позволяет исследовать как текущие, так и перспективные уровни вероятности возникновения негативных ответов со стороны здоровья населения на внешнесредовое загрязнение.

Цель исследования – обоснование и апробация подходов к оптимизации системы мониторинга атмосферного воздуха и комплексных планов воздухоохраняющих мероприятий на основе результатов гигиенической оценки и оценки рисков здоровью.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования выбран г. Братск – один из 12 городов, вошедших в федеральный проект «Чистый воздух».

Исходной информацией для гигиенической оценки и оценки рисков для здоровья являлись данные инструментальных измерений качества атмосферного воздуха в рамках экологического и социально-гигиенического мониторинга и сводные расчёты рассеивания выбросов стационарных и передвижных источников, переданные исполнителям работ ОА «НИИ Атмосфера» в форматах УПРЗА «Эколог» 02.09.2020 г.

Переданные базы данных содержали записи о 2202 источниках выбросов 113 видов загрязняющих веществ в атмосферный воздух: 1627 источников 134 предприятий и организаций города, 459 автономных источников теплоснабжения и 116 участках улично-дорожной сети. Суммарный учтённый выброс загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников составил 127,207 тыс. т/год.

Гигиеническую оценку ситуации выполняли с учётом результатов натурных измерений уровней загрязнения атмосферного воздуха в г. Братске за период 2017–2019 гг. Данный период рассматривали как предшествующий старту федерального проекта «Чистый воздух» и как базовый для оценки эффективности принимаемых мер проекта, а также для оптимизации программы мониторинга загрязнения атмосферного воздуха. Источниками данных являлись Центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды в г. Братске (объём – более 83 тыс. проб, 19 примесей на 5 постах наблюдения) и филиал Федерального бюджетного учреждения здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Иркутской области» в г. Братске и Братском районе (4 тыс. проб на 2 постах по 11 загрязняющим веществам).

Оценка рисков здоровью выполнялась на основе сводных расчётов, выполненных с применением стандартизованных программ («Эколог-Город» 4.60.1 с блоком расчёта «Средние») и утверждённых методик диффузии выбросов в атмосфере. Метеофайл для расчёта среднегодовых приземных концентраций предоставлен ФГБУ ГГО.

Оценку уровней загрязнения атмосферы, оценки экспозиции и рисков для здоровья выполняли в привязке к векторной карте-схеме г. Братска с применением лицензионной геоинформационной системы ArcView 3.2 и ArcGIS 9.3.1. На векторной карте были атрибутированы жилые здания, улично-дорожная сеть, промышленные площадки, водные объекты.

Расчёт разовых и среднегодовых приземных концентраций загрязняющих веществ проводили в 12 100 точках, соответствующих геометрическим центрам жилых строений.

Оценку риска для здоровья населения проводили в соответствии с Р 2.1.10.1920–04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду»¹. Референтные уровни воздействия и перечни поражаемых органов и систем приняты в соответствии с актуальными данными, размещёнными в отечественных и зарубежных базах данных (IRIS, EPA, ASTDR и пр.). Процедура выполнена с последовательной реализацией регламентируемых этапов оценки риска: идентификация опасности, оценка экспозиции, выбор зависимостей «экспозиция – ответ», характеристика риска.

Канцерогенный риск выражали через вероятность тяжёлого нарушения здоровья или смерти при условии пожизненной экспозиции. Неканцерогенный риск для здоровья выражали через коэффициенты и индексы опасности при остром и хроническом воздействии.

Критерии приемлемости и градации канцерогенного риска принимали в соответствии с положениями раздела 7 Р 2.1.10.1920–04. Критерии и градации неканцерогенного риска принимали в соответствии с Р 2.1.10.1920–04 с учётом методических рекомендаций МР 2.1.10.0156–19². Зонирование территории г. Братска проводили на основе отнесения расчётных точек к категориям риска. Зонирование выполняли отдельно для каждого вида риска и по каждому критическому органу или системе. Дополнительно, принимая во внимание неоднородность вкладов отдельных химических веществ в близкие по значению риски для здоровья населения, выполняли выделение специфических областей внутри зон риска по показателям вкладов загрязняющих веществ в показатели риска.

Основной целью выделения «подзон», специфичных по структуре загрязнений, являлось максимально полное и корректное определение точек для последующей оценки вкладов отдельных предприятий, объектов транспорта или коммунальной сферы или иных объектов хозяйствующих субъектов в формирование приземных концентраций химических веществ и рисков для здоровья.

Для выделения таких «подзон» внутри зон с установленным уровнем риска проведена процедура кластеризации расчётных точек, каждая из которых характеризовалась географическими координатами, величиной канцерогенного риска и индексами опасности острых и/или хронических эффектов в отношении отдельных органов и систем (рассматривались только индексы опасности выше 1,0).

Кластеризацию выполняли методом k -средних кластерного анализа с использованием программы статистического анализа Statistica 10.

¹ Р 2.1.10.1920–04 Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России; 2004. 143 с.

² МР 2.1.10.0156–19 Оценка экономической эффективности реализации мероприятий по снижению уровней загрязнения атмосферного воздуха на основании оценки риска здоровью населения. Официальный сайт КонсультантПлюс. Доступно по: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_359666/

В результате выполнения процедуры кластеризации получена система участков («кластеров», «подзон»), расположенных на территории г. Братска, различающихся по категории риска (неканцерогенного острого, неканцерогенного хронического, канцерогенного) поражения критических органов и систем и территориальному расположению. Соответственно, в таких подзонах были специфичными вклады загрязняющих веществ в риски для здоровья.

Каждая подзона характеризовалась следующими статистическими показателями: категорией риска, уровнем канцерогенного риска, кластерными средними по коэффициентам опасности и индексу опасности, минимальным и максимальным значением коэффициентов и индексов опасности, долевыми вкладами загрязняющих веществ в индекс опасности, географическим центром зоны.

На основе анализа вкладов отдельных химических веществ в риски для здоровья выделяли приоритетные примеси. К таким относили примеси, в сумме формирующие более 90% неприемлемого риска для здоровья. Для оценки численности населения, подверженного тому или иному аэрогенному риску, выполняли «привязку» к векторной карте города деперсонифицированного реестра застрахованных в территориальном фонде обязательного медицинского страхования жителей в г. Братске. Для решения задачи выполняли геокодирование адресов фактического проживания застрахованных к объектам адресного реестра, центры которых использовали в качестве расчётных точек.

Для удобства визуализации точки объединяли в прямоугольники 200 × 200 м. Определение вкладов объектов загрязнения атмосферного воздуха г. Братска (хозяйствующих субъектов) в показатели риска здоровью проводили на основе результатов расчёта вкладов в загрязнение воздуха от предприятий. Расчёт вкладов предприятий проводили в точках, соответствующих геометрическим центрам каждой подзоны (кластера). При оценке вкладов учитывали не менее 10 приоритетных объектов, формирующих суммарно более 95% риска для здоровья.

Вклад отдельного объекта (предприятия, автотранспорта, автономного источника теплоснабжения) в показатель риска для кластера определяли как взвешенное среднее вкладов предприятия в точках подзоны (кластера) по формуле (1):

$$\delta_j^k = \frac{\sum_i HQ_i^k \cdot \delta_{i,j}^k}{\sum_i HQ_i^k}, \quad (1)$$

где δ_j^k – вклад j -го предприятия в индекс опасности ($HI_i = \sum HQ_i$) для критической системы (органа) в точке, соответствующей центру k -го кластера с учётом всей совокупности веществ, выбрасываемых предприятием; HQ_i^k – значение коэффициента опасности в точке, соответствующей центру k -го кластера; $\delta_{i,j}^k$ – вклад j -го предприятия в загрязнение атмосферного воздуха в точке, соответствующей центру k -го кластера по i -му веществу.

Расчёт вкладов проводили для каждого кластера в отношении всех критических органов и систем. Для интегральной оценки вкладов отдельных объектов в показатели риска здоровью населения г. Братска в целом проводили взвешенное осреднение по всем кластерам (2):

$$\delta_j = \frac{\sum_k N^k \cdot HI^k \cdot \delta_j^k}{\sum_k N^k \cdot HI^k}, \quad (2)$$

где δ_j – вклад j -го предприятия в индекс опасности по совокупности кластеров; HI^k – индекс опасности по каждому виду неканцерогенного риска для отдельных критических органов и систем в точке, соответствующей центру k -го кластера; N^k – взвешивающий параметр, характеризующий объём k -го кластера (число объектов, входящих в кластер, численность населения в кластере).

Таблица 1 / Table 1

Показатели содержания химических примесей в атмосферном воздухе г. Братска по сводным данным экологического и социально-гигиенического мониторинга (2017–2019 гг.)

Indicators of the content of chemical impurities in the atmospheric air of Bratsk according to the summary data of environmental and socio-hygienic monitoring (2017–2019)

Вещества Pollutants	Максимальные из разовых доли ПДКм.р. Maximum of one-time concentrations, the share of MPCmr			Среднесуточные доли ПДКс.с. Average daily proportions of MPCss		
	год / year					
	2017	2018	2019	2017	2018	2019
Взвешенные вещества Suspended particles	3.20	1.80	1.40	1.53	1.47	1.29
Серы диоксид Sulfur dioxide	0.13	0.20	0.22	0.02	0.02	0.02
Углерода оксид Carbon oxide	1.40	1.62	2.30	0.20	0.20	0.20
Азота диоксид Nitrogen dioxide	4.99	3.55	1.89	0.29	0.27	0.22
Азота (II) оксид Nitrogen (II) oxide	1.03	0.22	0.12	0.05	0.02	0.008
Дигидросульфид Hydrogen sulfur	1.16	1.25	1.63	–	–	–
Сероуглерод Carbon disulfide	3.00	4.67	1.99	–	–	–
Фториды неорганические плохо растворимые Inorganic fluorides, poorly soluble	0.20	0.25	0.20	0.20	0.20	0.13
Фтористые газообразные соединения Fluoride gaseous compounds	3.35	7.00	3.00	0.29	0.29	0.29
Формальдегид Formaldehyde	1.84	1.98	1.12	1.40	1.50	0.90
Метантиол MetantioI	1.20	0.22	0.33	–	–	–
Свинец Lead	0.01	0.01	0.02	НПО BDL	НПО BDL	0.03
Марганец Manganese	0.003	0.006	0.004	0.01	0.01	0.02

Примечание. НПО – ниже предела определения.

Note. BDL – below the determination limit.

Расчёт интегрального вклада предприятий в индекс опасности проводили только для зон неприемлемого риска отдельно для каждого критического органа или системы.

По результатам оценки вкладов определяли приоритетные объекты, формирующие неприемлемые риски для здоровья населения г. Братска как в целом по городу, так и в его отдельных жилых зонах. С учётом выделенных вкладов отдельных хозяйствующих субъектов и приоритетных химических веществ выполняли анализ комплексных планов и оптимальности системы инструментальных измерений на территории города.

Результаты

Установлено, что за период исследования в городе систематически превышаются гигиенические нормативы по взвешенным веществам, углерода оксиду, азота диоксиду,

дигидросульфиду, фтористым газообразным соединениям, формальдегиду и пр. (табл. 1). При общих позитивных тенденциях к снижению загрязнения по большинству измеряемых примесей в городе сохраняется высокий уровень загрязнения (индекс загрязнения атмосферы (ИЗА₅) составлял в 2014 году 38,5, в 2019 году – 21,9 «высокое загрязнение»). Полученные результаты свидетельствовали о негативной санитарно-эпидемиологической ситуации и позволяли предполагать существенное негативное влияние качества атмосферного воздуха на здоровье жителей города.

Результаты гигиенической оценки нашли подтверждение в процессе оценки рисков здоровью населения. Так, средний по городу канцерогенный риск составил при оценке экспозиции по данным многолетних инструментальных измерений $7,3 \cdot 10^{-4}$. Уровень оценивается как неприемлемый для населения и требующий мер по снижению и постоянного мониторинга. Структура вкладов веществ в канцерогенный риск в разных зонах города несколько различалась, однако приоритеты в целом выстраивались следующим образом:

- формальдегид (от 80 до 87% вклада в пожизненный канцерогенный риск);
- хром (от 3,5 до 5,2%);
- бенз(а)пирен (от 2 до 7,2%);
- никель (от 0,5 до 4,5%).

Прочие канцерогенные примеси: свинец, ацетальдегид, этилбензол и др. не вносили в величину суммарного канцерогенного риска во всех точках более 1% вклада.

В ходе анализа суммарных уровней острого неканцерогенного риска (значений индексов опасности) на территории г. Братска установлено, что при кратковременных воздействиях химических веществ, загрязняющих атмосферный воздух, формируются неприемлемые риски в отношении органов дыхания, иммунной системы и крови, системных нарушений и негативного воздействия на развитие потомства. Хроническое (длительное) воздействие формирует риски в отношении болезней органов дыхания, костной системы, крови и иммунной системы, развития потомства.

Для всех видов риска нарушений здоровья были определены примеси, суммарный вклад которых в неприемлемый риск в целом по городу составляет не менее 90%.

Так, к примеру, было определено, что в целом по территории города острые риски в отношении органов дыхания более чем на 95% формируются: суммой различных видов производственной пыли, азота диоксидом, серы диоксидом и фтористыми газообразными соединениями (табл. 2).

Прочие примеси по результатам расчётов рассеивания не вносили существенных вкладов в данный вид риска. При разной структуре вкладов приоритеты для разных зон города сохранялись.

Аналогично приоритетные вещества выделяли в отношении иных неприемлемых рисков здоровью.

Обобщение данных о факторах, вносящих наибольшие суммарные вклады в разные по длительности воздействия и поражаемым органам и системам риски для здоровья, позволило составить перечень приоритетов в целом по городу (табл. 3). Дополнительно по гигиеническим критериям к приоритетным веществам отнесены сероуглерод и дигидросульфид.

Снижение выбросов данных примесей обеспечит минимизацию рисков для здоровья населения г. Братска. Именно данные примеси подлежат первоочередному системному мониторингу, экологическому нормированию (квотированию) и включению в планы воздухоохраных мероприятий.

Оценка вкладов отдельных промышленных объектов, автотранспорта и автономных источников в рассчитанные риски для здоровья позволила выделить хозяйствующие субъекты, выбросы которых формируют неблагоприятную гигиеническую ситуацию и создают риски для здоровья населения (табл. 4).

Таблица 2 / Table 2

Осреднённый вклад отдельных химических примесей в острый неканцерогенный риск формирования болезней органов дыхания
The average contribution of individual chemical impurities to the acute non-carcinogenic risk of developing respiratory diseases

Показатель Indicator		Зона с HI 1–3 Zone with HI 1.0–3.0	Зона с HI 3,01–6 Zone with HI 3.01–6,0	Зона с HI > 6,01 (высокий риск) Zone with HI > 6.01 (high risk)
Население под воздействием, человек Population under the influence		156,300	476	8
Вклады отдельных химических веществ в риск, % / Contributions of certain chemicals to risk, %				
Азота диоксид Nitrogen dioxide		21.85	7.57	2.85
Азота (II) оксид Nitrogen (II) oxide		3.73	1.01	0.62
Серы диоксид Sulfur dioxide		17.68	4.79	3.25
Фтористые газообразные соединения Fluoride gaseous compounds		3.89	3.88	1.29
Формальдегид Formaldehyde		0.87	0.62	0.23
Сумма различных видов производственной пыли, в том числе: The sum of various kinds of industrial dust, including:		51.97	82.12	91.75
взвешенные вещества suspended particles		6.80	4.71	1.11
пыль неорганическая: SiO ₂ > 70% inorganic dust: SiO ₂ > 70%		0.70	1.01	0.15
пыль неорганическая: SiO ₂ 20–70% inorganic dust: SiO ₂ 20–70%		24.59	41.11	5.86
пыль неорганическая: SiO ₂ < 20% inorganic dust: SiO ₂ < 20%		5.23	22.80	1.84
пыль абразивная abrasive dust		0.37	0.61	2.97
пыль древесная wood dust		5.65	7.87	76.91
пыль резинового вулканизата rubber vulcanizate dust		0.07	0.02	0.02
пыль полистирола polystyrene dust		4.02	1.53	1.86
пыль полисульфонов polysulfone dust		1.04	0.42	0.49
пыль мучная flour dust		1,92	0.00	0.00
смолистые вещества (возгоны пека) в составе электролизной пыли resinous substances (pitch fumes) in electrolysis dust		1.58	2.04	0.54

Таблица 3 / Table 3

Приоритетные компоненты выбросов объектов на территории г. Братска, формирующие в сумме до 95% неприемлемых рисков
Priority components of emissions from facilities in the city of Bratsk, forming up to 95% of unacceptable risks in total

Приоритетные вещества Priority pollutants		Вид риска Risk kinds
Хром VI Chromium VI		Канцерогенный / Carcinogenic
Азота диоксид Nitrogen dioxide		Острый: органы дыхания. Хронический: органы дыхания, иммунная система и кровь Acute: respiratory organs. Chronic: respiratory system, immune system and blood
Азота (II) оксид Nitrogen (II) oxide		Хронический: органы дыхания, иммунная система, кровь Chronic: respiratory system, immune system, blood
Углерод Carbon		Канцерогенный / Carcinogenic
Серы диоксид Sulfur dioxide		Хронический и острый: органы дыхания / Chronic and acute: respiratory organs
Фтористые газообразные соединения Fluoride gaseous compounds		Острый: органы дыхания. Хронический: органы дыхания, костная система Acute: respiratory organs. Chronic: respiratory organs, skeletal system
Фториды неорганические плохо растворимые Inorganic fluorides, poorly soluble		Хронический: органы дыхания, костная система Chronic: respiratory organs, skeletal system
Хлор* Chlorine		Хронический: органы дыхания / Chronic: respiratory organs
Хлора диоксид Chlorine dioxide		Хронический: органы дыхания / Chronic: respiratory organs
Бензол Benzene		Канцерогенный риск. Острый: процессы развития; кровь Carcinogenic risk. Acute: developmental processes; blood
Бенз(а)пирен Benz(a)pyrene		Канцерогенный. Хроническое воздействие на процессы развития Carcinogenic. Chronic developmental impact
Сумма различных видов производственной пыли, в том числе: The sum of various types of industrial dust, including:		Острый: органы дыхания; системные нарушения. Хронический: органы дыхания Acute: respiratory organs; systemic violations. Chronic: respiratory organs
сероуглерод carbon disulfide		Опасность для центральной нервной системы, воздействия на развитие (фетотоксичность, тератогенность) Danger to the central nervous system, developmental effects (fetotoxicity, teratogenicity)
дигидросульфид hydrogen sulfur		Опасность в отношении органов дыхания / Danger to the respiratory system

Примечание. * Для зоны мкр. Чекановский до момента полного вывода жилой застройки из зоны неприемлемого риска.

Note. * For the Chekanovsky microdistrict zone until the moment of complete withdrawal of residential buildings from the area of unacceptable risk.

Таблица 4 / Table 4

Пример результатов оценки вкладов отдельных объектов – источников выбросов – в риски для здоровья населения (выделены вклады предприятий, формирующие более 90% риска в селитебной застройке)

An example of the results of assessing the contributions of individual objects – sources of emissions – to risks for public health (the contributions of enterprises that form more than 90% of the risk in residential development are highlighted)

Вид риска здоровью Kind of health risk	Предприятие (объект) Enterprise (object)	Вклад в целом по городу, % Total contribution for the city, %	Вещества, формирующие данный вклад, % для данного объекта Substances forming this contribution, % for this object
Канцерогенный Carcinogenic	ПАО «РУСАЛ Братск» PJSC «RUSAL Bratsk»	78.02	Бенз(а)пирен, хром Benz(a)pyrene, chromium
	ООО «Братский ремонтный механический завод» LLC «Bratsk Mechanical Repair Plant»	10.54	Хром VI Chromium VI
	ООО «ОУ БАУ Уголёк» LLC «OU BAU Ugolyok»	9.26	Углерод Carbon
	Автономные источники теплоснабжения (АИТ) Autonomous heat supply sources	1.14	Углерод, бенз(а)пирен Carbon, benz(a)pyrene
	Автотранспорт на автодорогах г. Братска Automobile transport on the roads of the city of Bratsk	1.04	Бенз(а)пирен Benz(a)pyrene
Острый риск формирования болезней органов дыхания Acute risk of developing respiratory diseases	Филиал ПАО «Иркутскэнерго» ТЭЦ-6, уч.ТИ и ТС (ТЭЦ-7) Branch of PJSC «Irkutskenergo»	20.42	Азота диоксид, серы диоксид, азота (II) оксид Nitrogen dioxide, sulfur dioxide, nitrogen oxide
	Филиал ПАО «Иркутскэнерго» ТЭЦ-6 Branch of PJSC «Irkutskenergo»	20.12	Пыль неорганическая Inorganic dust
	Филиал АО «Группа «Илим» в г. Братске Branch of JSC «Group «Ilim» in Bratsk	15.03	Пыль неорганическая Inorganic dust
	ПАО «РУСАЛ Братск» PJSC «RUSAL Bratsk»	13.27	Фтористые газообразные соединения, пыль неорганическая, взвешенные вещества, серы диоксид Fluoride gaseous compounds, inorganic dust, suspended particles, sulfur dioxide
	Автотранспорт на автодорогах г. Братска Automobile transport on the roads of the city of Bratsk	11.84	Азота диоксид, азота (II) оксид Nitrogen dioxide, nitrogen oxide
	Филиал ПАО «Иркутскэнерго» ТЭЦ-6, уч. ТИ и ТС (РГК) Branch of PJSC «Irkutskenergo»	4.83	Серы диоксид, пыль неорганическая Sulfur dioxide, inorganic dust
	Филиал АО «Группа «Илим» в г. Братске. Производство щепы Branch of «Ilim Timber» in Bratsk city. Production of chip	4.40	Пыль древесная Wood dust
	ООО «Трансстрой» LLC «Transstroy»	2.72	Пыль неорганическая Inorganic dust
Острый риск нарушения иммунной системы и болезней крови Acute risk of impaired immune system and blood diseases	АО «Иркутскнефтепродукт» (АЗК № 308, АЗС № 302, АЗК № 310) JSC «Irkutsknefteprodukt»	98.4	Бензол (100%) Benzene (100%)
Хронический неканцерогенный риск болезней органов дыхания Chronic non-carcinogenic risk of respiratory diseases	ПАО «РУСАЛ Братск» PJSC «RUSAL Bratsk»	42.15	Фтористые газообразные соединения, серы диоксид, пыль неорганическая: SiO ₂ < 20% (13%) Fluoride gaseous compounds, sulfur dioxide, Inorganic dust: SiO ₂ < 20% (13%)
	Автотранспорт на автодорогах г. Братска Automobile transport on the roads of the city of Bratsk	21.05	Азота диоксид, азота (II) оксид Nitrogen dioxide, nitrogen oxide
	Филиал АО «Группа «Илим» в г. Братске Branch of «Ilim Timber» in Bratsk city	16.96	Хлора диоксид, хлор Chlorine dioxide, chlorine
	ООО «Братский завод ферросплавов» LLC «Bratsk Ferroalloy Plant»	5.27	Пыль неорганическая: SiO ₂ > 70% Inorganic dust: SiO ₂ > 70%
	Филиал ООО «Финтранс ГЛ» в г. Братске Branch of LLC «Fintrans GL» in Bratsk	4.37	Азота диоксид, азота (II) оксид Nitrogen dioxide, nitrogen oxide
	Филиал АО «Группа «Илим» в г. Братске. Хлорное производство Branch of JSC «Group «Ilim» in Bratsk. Chlorine production	3.71	Хлор Chlorine

Продолжение таблицы 4 на стр. 1049

Продолжение таблицы 4. Начало на стр. 1048

Вид риска здоровью Kind of health risk	Предприятие (объект) Enterprise (object)	Вклад в целом по городу, % Total contribution for the city, %	Вещества, формирующие данный вклад, % для данного объекта Substances forming this contribution, % for this object
Хронический риск воздействия на костную систему Chronic risk of exposure to the skeletal system	ПАО «РУСАЛ Братск» PJSC «RUSAL Bratsk»	100.00	Фтористые газообразные соединения Fluoride gaseous compounds
Хронический риск воздействия на процессы развития Chronic risk of impact on development processes	ПАО «РУСАЛ Братск» PJSC «RUSAL Bratsk»	81.23	Бенз(а)пирен Benz(a)pyrene
	Автотранспорт на автодорогах г. Братска Automobile transport on the roads of the city of Bratsk	8.00	Бенз(а)пирен, углерода оксид Benz(a)pyrene, carbon
	Автономные источники теплоснабжения (АИТ) Autonomous heat supply sources	2.98	Бенз(а)пирен Benz(a)pyrene
	ООО «ОУ БАУ Уголёк» LLC «OU BAU Ugolyok»	2.12	Бенз(а)пирен Benz(a)pyrene
	Филиал ООО «Илим Тимбер» в г. Братске Branch of LLC «Ilim Timber» in Bratsk city	2.00	Углерода оксид Carbon oxide
	ПАО «РУСАЛ Братск» PJSC «RUSAL Bratsk»	1.63	Углерода оксид, азота диоксид, азота (IV) оксид Carbon oxide Nitrogen dioxide (Nitrogen (IV) oxide)

Согласно полученным данным, к основным загрязнителям воздуха селитебных территорий города отнесены: ПАО «РУСАЛ Братск» (приоритетные компоненты выбросов, требующие сокращения: бенз(а)пирен, серы диоксид, фтористые газообразные соединения, сумма различных видов производственной пыли, прежде всего пыли неорганической и взвешенных веществ); филиал АО «Группа «Илим» (сумма различных видов производственной пыли, хлор и хлор диоксид); ПАО «Иркутскэнерго» ТЭЦ-6 и ТЭЦ-7 (выбросы серы диоксида, оксидов азота и суммы различных видов производственной пыли, прежде всего пыли неорганической); АО «Иркутскнефтепродукт» (бензол); ООО «Братский ремонтный механический завод» (хром); автотранспорт города (оксиды азота, углерода оксид, бенз(а)пирен) и пр.

Обсуждение

Анализ систем экологического и социально-гигиенического мониторинга атмосферного воздуха в г. Братске через призму результатов гигиенической оценки и оценки рисков для здоровья позволил оценить размещение точек и программы наблюдений в г. Братске как отвечающие потребностям оценки качества воздуха в интересах защиты здоровья населения. Большинство приоритетных примесей включены в программы мониторинга. Число точек наблюдения также представлялось достаточным в силу незначительной площади селитебной территории города. Размещение 5 постов наблюдений Росгидромета и 2 постов системы социально-гигиенического мониторинга обеспечивало репрезентативность измерений для любой точки территории.

Вместе с тем по результатам гигиенической оценки и оценки риска для здоровья рекомендовано включить в программы инструментальных измерений Роспотребнадзора хром, бензол и сажу как факторы канцерогенного риска и риска поражения иммунной системы. В 2020 году максимальная разовая концентрация бензола составила 3,33 ПДКм.р., а средняя за год концентрация – 3 ПДКс.с.; углерода – соответственно 1,73 ПДКм.р. и 0,75 ПДКс.с.; хрома – 3,75 ПДКс.с. Таким образом, полностью подтверждена целесообразность расширения программы мониторинга и необходимость продолжения инструментальных измерений примесей.

Кроме того, обращает на себя внимание факт, что в сводной базе данных и в программах мониторинга отсутствовали данные о мелкодисперсных твёрдых частицах (диаметром менее 10 и 2,4 мкм – PM_{10} и $PM_{2,5}$), которые являются наиболее опасной фракцией пылевых смесей. При этом наличие мелкодисперсных частиц в выбросах стационарных и передвижных источников загрязнения атмосферы и, соответственно, в воздухе городов доказано многочисленными специальными исследованиями [17–21]. Отсутствие расчётного и инструментального мониторинга PM_{10} и $PM_{2,5}$ приводит к тому, что они не рассматриваются как фактор риска здоровью и не включаются в систему государственного регулирования. В этой связи рекомендовано включать мелкодисперсные частицы в программы мониторинга и учитывать их при инвентаризации источников выбросов.

Анализ комплексного плана мероприятий по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в г. Братске с учётом результатов гигиенического анализа и оценки риска позволил установить, что в целом направления мероприятий являются адекватными перечню приоритетных факторов риска для здоровья горожан.

Так, ПАО «РУСАЛ Братск» – предприятие, которое вносит наибольший вклад в негативное воздействие на здоровье населения города, – предусматривает снижение валового выброса на 12,75%. Предполагается сокращение выбросов пыли неорганической на 887,7 т/год. Сокращение углерода оксида на 14,5 тыс. тонн с позиций снижения рисков здоровью менее существенно. Однако, принимая во внимание, что углерода оксид вносит вклад, пусть не самый значительный, в риски негативных воздействий на кровь и на развитие потомства, мероприятия по уменьшению выбросов этого вещества следует рассматривать позитивно. Дополнительный анализ проекта нормативов допустимых выбросов предприятия показал, что планируется значительное снижение выбросов фтористых соединений на 1377,4 т/год, бенз(а)пирена – на 1,86 т/год и возгонов каменноугольного пека – на 14,6 т/год.

АО «Группа «Илим» в Братске планирует ряд мер, снижающих выбросы фтористых соединений, исключение выбросов хрома, азота диоксида, что соответствует приоритетам, установленным по критериям риска здоровью жителей. Мероприятия на объектах ПАО «Иркутскэнерго» должны по плану привести к снижению валового выброса

на 2,11 тыс. тонн, или на 1,67%. Документацией предприятия предусмотрено снижение выбросов пыли неорганической почти на 710 т и сажи более чем на 3,2 т/год — меры адекватны по видам подавляемых веществ.

План предполагает газификацию жилых домов, частных домовладений и ряда промышленных предприятий (общее снижение выбросов на 4,5 тыс. тонн в год). Меры не конкретизированы, перечень снижаемых веществ можно только предполагать, равно как и точки приложения мероприятий на территории города.

Однако одновременно со снижением выбросов предприятия планируют собственное развитие, которое сопровождается и ростом выбросов некоторых веществ. Так, ПАО «РУСАЛ Братск» заложило в проект нормативов выбросов рост выбросов диоксида серы на 555,8 т/год.

На производстве щепы АО «Группа «Илим» в Братске прогнозируется рост выбросов древесной пыли с 421,6 до 471,1 т/год. Не планируется снижения выбросов на хлорном производстве. В целом в соответствии с планом мероприятий АО «Группа «Илим» в Братске предполагает сокращение выбросов относительно уровня 2017 года всего на 0,31%, что может быть недостаточно для достижения приемлемого риска для здоровья жителей в той части, за которую несут ответственность производства данной организации.

Если принимать во внимание, что объекты энергетики ТЭЦ-6 и ТЭЦ-7 вносят в острые риски возникновения болезней органов дыхания у населения около 40% вклада, а риски необходимо по самым нестрогим оценкам снижать в 1,5 раза, то планируемое снижение может не обеспечить достижения приемлемых рисков для здоровья.

Комплексным планом не предусмотрены мероприятия по существенному снижению выбросов пыли на предприятиях города, тогда как отдельные виды пыли, действуя однонаправленно, вносят вклад во многие виды рисков, которые формируются в городе.

Нерешённой остаётся проблема загрязнения атмосферы города выбросами сероводорода и сероуглерода, хотя по данным примесям в городе регистрируются превышения ПДК, и примеси могут являться факторами риска для здоровья.

Заключение

Для г. Братска по результатам гигиенических оценок и оценки риска здоровью из 113 выбрасываемых примесей выделены 13 химических соединений и групп (сумма 8 видов пыли рассматривается как группа), которые определены как общегородские приоритеты. Систематический мониторинг этих примесей, их обязательное экологическое нормирование (квотирование) и включение в планы природоохранных мероприятий являются залогом достижения существенного

улучшения состояния здоровья населения в части заболеваний, ассоциированных с факторами риска. Подход к выделению приоритетных химических веществ, загрязняющих атмосферный воздух, основанный на выборе примесей, которые в сумме формируют порядка 90% неприемлемого риска для здоровья населения, представляется универсальным и может быть тиражирован на другие территории.

Результаты исследований позволили оценить направленность мероприятий комплексных планов по снижению выбросов как соответствующую в целом структуре факторов. Однако сделано заключение о высокой вероятности недостаточности объёмов запланированных воздухоохранных мер. Для максимально корректной оценки результативности и эффективности представляется целесообразным дополнить планы материалами, содержащими данные о конкретных источниках выбросов, на которых планируется реализовать мероприятия, аэродинамических параметрах источников и массах выбросов вредных веществ (г/с; т/год) до и после мероприятий.

В целом гигиенический анализ ситуации и оценка рисков для здоровья могут и должны рассматриваться как информационная база при формировании программ мониторинга качества атмосферного воздуха и планов воздухоохранных мероприятий. В противном случае затраты на системы наблюдений и природоохранные меры могут не иметь медико-демографического и социально значимого эффекта.

Во избежание аггравации или, напротив, недооценки рисков здоровью и, соответственно, устранения опасности неадресных и/или неэффективных вложений в природоохранные мероприятия рекомендуется дополнять оценку рисков здоровью данными о фактической заболеваемости населения, складывающейся на территории города, и (при наличии) результатами специальных медико-биологических исследований по тем видам нарушений здоровья, которые идентифицированы как зависимые от уровня загрязнения атмосферы г. Братска.

Представляются целесообразными оценка и обсуждение с хозяйствующими субъектами результатов оценки рисков здоровью, всех выявленных несоответствий между декларируемыми выбросами, расчётными уровнями загрязнений и реальной санитарно-гигиенической ситуацией в городе.

Рекомендуется в условиях технической и/или организационной недостижимости приемлемых рисков для здоровья населения включение мер медико-профилактического характера в планы компенсационных мероприятий, предусмотренных Федеральным законом 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».

Литература

(п.п. 6, 7, 9, 10, 15, 17, 21 см. References)

1. Попова А.Ю. Стратегические приоритеты Российской Федерации в области экологии с позиции сохранения здоровья нации. *Здоровье населения и среда обитания*. 2014; 251(2): 4–7.
2. Ревич Б.А. Национальный проект «Чистый воздух» в контексте охраны здоровья населения. *Экологический вестник России*. 2019; (4): 64–9. Доступно: <https://ecovestnik.ru/index.php/2013-07-07-02-13-50/nashi-publikacii/3132-natsionalnyj-proekt-chistyj-vozdukh-v-kontekste-okhrany-zdorovya-naseleniya>
3. Лещук С.И., Очиржапова Д.Ц. Антропогенное загрязнение атмосферного воздуха и его влияние на здоровье населения. *Вестник ИргСХА*. 2012; (51): 52–61.
4. Чубирко М.И., Пичужкина Н.М., Михалькова Е.В. Экологически обусловленные «болезни цивилизации». *Научно-медицинский вестник Центрального Черноземья*. 2017; (68): 56–61.
5. Ракитский В.Н., Авалиани С.Л., Новиков С.М., Шашина Т.А., Додина Н.С., Кислицин В.А. Анализ риска здоровью при воздействии атмосферных загрязнений как составная часть стратегии уменьшения глобальной эпидемии неинфекционных заболеваний. *Анализ риска здоровью*. 2019; (4): 30–6. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.4.03>
6. Тихонова И.В., Землянова М.А., Кольдибекова Ю.В., Пескова Е.В., Игнатова А.М. Гигиеническая оценка аэрогенного воздействия взвешенных веществ на заболеваемость детей болезнями органов дыхания в зоне влияния выбросов металлургического производства. *Анализ риска здоровью*. 2020; (3): 61–9. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.3.07>
7. Зайцева Н.В., Землянова М.А., Кольдибекова Ю.В., Жданова-Заплесвичко И.Г., Пережогин А.Н., Клейн С.В. Оценка аэрогенного воздействия приоритетных химических факторов на здоровье детского населения в зоне влияния предприятий по производству алюминия. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(1): 68–75. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-1-68-75>
8. Ананина О.А., Писарева Л.Ф., Одинцова И.Н., Христенко Е.Л., Попова Г.А., Христенко И.Д. Заболеваемость злокачественными новообразованиями населения г. Норильска. Формирование групп повышенного риска. *Сибирский онкологический журнал*. 2013; 58(4): 58–61.

Original article

13. Бериев О.Г., Заалишвили В.Б., Бурдзиева О.Г., Закс Т.В., Кануков А.С. Онкозаболеваемость населения г. Владикавказа и его взаимосвязь с различными факторами. *Геология и геофизика Юга России*. 2013; (3): 29–38.
14. Колпакова А.Ф. О связи антропогенного загрязнения воздуха взвешенными частицами с риском развития онкологических заболеваний (обзор литературы). *Гигиена и санитария*. 2020; 99(3): 298–302. <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-3-298-302>
16. Государственный доклад Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2018 году». Доступно: https://www.rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=12053
18. Чистяков Я.В., Епархин О.М., Володин Н.И. Мелкодисперсная пыль – техногенная угроза биосфере. *История и перспективы развития транспорта на севере России*. 2014; (1): 155–8.
19. 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.
20. Иванова А.А., Кумпан Н.В., Брагина О.Н., Киселёва О.А., Мячина Т.Н. Необходимость разработки методических указаний по учёту выбросов мелкодисперсной пыли тепловыми электрическими станциями. *Электрические станции*. 2014; 99(2): 57–63.

References

1. Popova A.Yu. Strategic priorities of the Russian Federation in the field of ecology from the position of preservation of health of the nation. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*. 2014; 25(2): 4–7. (in Russian)
2. Revich B.A. National project «Clean Air» in the context of public health protection. *Ekologicheskij vestnik Rossii*. 2019; (4): 64–9. Available at: <https://ecovestnik.ru/index.php/2013-07-07-02-13-50/nashi-publikacii/3132-nationalnyj-proekt-chistyy-vozdukh-v-kontekste-okhrany-zdorovya-naseleniya> (in Russian)
3. Leshchuk S.I., Ochirzhapova D.Ts. Anthropogenic contamination of atmosphere air and its influence on population's health. *Vestnik IrGSKhA*. 2012; (51): 52–61. (in Russian)
4. Chubirko M.I., Pichuzhkina N.M., Mikhalkova E.V. Environmentally caused diseases are diseases of civilization. *Nauchno-meditsinskiy vestnik Tsentral'nogo Chernozem'ya*. 2017; (68): 56–61. (in Russian)
5. Rakitskiy V.N., Avaliani S.L., Novikov S.M., Shashina T.A., Dodina N.S., Kislitsin V.A. Health risk analysis related to exposure to ambient air contamination as a component in the strategy aimed at reducing global non-infectious epidemics. *Analiz riska zdorov'yu*. 2019; (4): 30–6. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.4.03> (in Russian)
6. WHO. Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project Recommendations for concentration-response functions for cost-benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. Geneva; 2013.
7. WHO. Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks. Geneva; 2016. Available at: <https://www.who.int/airpollution/ambient/health-impacts/en/>
8. Tikhonova I.V., Zemlyanova M.A., Kol'dibekova Yu.V., Peskova E.V., Ignatova A.M. Hygienic assessment of aerogenic exposure to particulate matter and its impacts on morbidity with respiratory diseases among children living in a zone influenced by emissions from metallurgical production. *Analiz riska zdorov'yu*. 2020; (3): 61–9. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.3.07> (in Russian)
9. Darbre P.D. Overview of air pollution and endocrine disorders. *Int. J. Gen. Med.* 2018; 11: 191–207. <https://doi.org/10.2147/ijgm.s102230>
10. Prüss-Ustün A., Wolf J., Corvalán C., Neville T., Bos R., Neira M. Diseases due to unhealthy environments: an updated estimate of the global burden of disease attributable to environmental determinants of health. *J. Public Health (Oxf.)*. 2017; 39(3): 464–75. <https://doi.org/10.1093/pubmed/fdw085>
11. Zaytseva N.V., Zemlyanova M.A., Kol'dibekova Yu.V., Zhdanova-Zaplevichko I.G., Perezhogin A.N., Kleyn S.V. Evaluation of the aerogenic impact of priority chemical factors on the health of the child population in the zone of the exposure of aluminum enterprises. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(1): 68–75. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-1-68-75> (in Russian)
12. Ananina O.A., Pisareva L.F., Odintsova I.N., Khristenko E.L., Popkova G.A., Khristenko I.D. Cancer incidence among population of Norilsk. Formation of high risk groups for cancer. *Sibirskiy onkologicheskij zhurnal*. 2013; 58(4): 58–61. (in Russian)
13. Beriev O.G., Zaaliashvili V.B., Burdzieva O.G., Zaks T.V., Kanukov A.S. Oncology disease rate of vladikavkaz city population and its interrelation with various factors. *Geologiya i geofizika Yuga Rossii*. 2013; (3): 29–38. (in Russian)
14. Kolpakova A.F. On the relationship of anthropogenic air pollution by particulate matter with cancer risk. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99(3): 298–302. <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-3-298-302> (in Russian)
15. Carpenter D.O., Bushkin-Bedient S. Exposure to chemicals and radiation during childhood and risk for cancer later in life. *J. Adolesc. Health*. 2013; 52(5): 21–9. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2013.01.027>
16. Official site of the Federal Service for Surveillance on Customers Rights Protection and Human Wellbeing. The state report of the federal service for surveillance on customers rights protection and human wellbeing «On the state of sanitary and epidemiological welfare of the population in the Russian Federation in 2018». Moscow; 2020. Available at: https://www.rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=12053 (in Russian)
17. WHO. Recommendations on air quality concerning particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide. Global updated data. Geneva; 2016.
18. Chistyakov Ya.V., Eparхин O.M., Volodin N.I. Fine dust is a technogenic threat to the biosphere. *Istoriya i perspektivy razvitiya transporta na severe Rossii*. 2014; (1): 155–8. (in Russian)
19. Zagorodnov S.Yu., Kokoulina A.A., Popova E.V. Studying of component and disperse structure of dust emissions of metallurgical complex enterprises for problems of estimation the population exposition. *Izvestiya Samar'skogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2015; 17(5-2): 451–6. (in Russian)
20. Ivanova A.A., Kumpan N.V., Bragina O.N., Kiseleva O.A., Myachina T.N. The need to develop guidelines on accounting for emissions of fine dust thermal power plants. *Elektricheskie stantsii*. 2014; 99(2): 57–63. (in Russian)
21. Falta T., Limbeck A., Koellensperger G., Hann S. Bioaccessibility of selected trace metals in urban PM2.5 and PM10 samples: a model study. *Anal. Bioanal. Chem.* 2008; 390(4): 1149–57. <https://doi.org/10.1007/s00216-007-1762-5>