



Кислицына В.В., Суржиков Д.В., Ликонцева Ю.С., Штайгер В.А.

## Оценка ингаляционного риска для здоровья населения угледобывающего промышленного центра

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний», 654041, Новокузнецк, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Введение.** Угольные предприятия неблагоприятно влияют на экологическое равновесие, способствуют выведению обширных территорий из земель сельскохозяйственного назначения, деградации природных ресурсов, загрязнению атмосферного воздуха. Эти факторы оказывают негативное воздействие на здоровье населения.

**Цель исследования** — оценить риск для здоровья населения при хроническом воздействии химических веществ, содержащихся в выбросах стационарных источников угледобывающего города (на примере г. Прокопьевска Кемеровской области).

**Материалы и методы.** В работе использованы данные о валовых выбросах в атмосферный воздух Прокопьевска от стационарных источников и среднегодовых концентрациях загрязняющих веществ в 2019–2023 гг. по материалам доклада Министерства природных ресурсов и экологии Кузбасса. Концентрации химических веществ, содержащихся в атмосферном воздухе, за 2019–2020 гг. оценивали по ГН 2.1.6.3492–17, за 2021–2023 гг. — по СанПиН 1.2.3685–21. Риски для здоровья населения при хроническом ингаляционном поступлении химических веществ были рассчитаны согласно Руководству Р 2.1.10.1920–04.

**Результаты.** Снижение валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу города с 2019 по 2023 г. составило 6,456 тыс. тонн (32,6%). Превышение предельно допустимых концентраций взвешенных веществ выявлено в 2023 г. в 1,2–2,2 раза, диоксида азота — в 1,1 раза также в 2023 г.; бенз(а)пирена — в 1,2 раза в 2019 г. и в 1,3 раза в 2022 г.; оксида углерода — в 1,2 раза в 2021 г. Коэффициент опасности при хроническом ингаляционном воздействии взвешенных веществ ( $HQ = 3,8$ ) соответствовал высокому уровню риска в 2019 г. и настораживающему уровню — в 2020–2023 гг. ( $HQ$  от 1,8 до 2,4). Также настораживающие уровни риска выявлены при воздействии диоксида азота, бенз(а)пирена и оксида углерода. Индекс опасности ( $HI$ ) в 2019 г. составил 7,1 (высокий уровень риска), в 2020–2023 гг. индексы опасности находились в диапазоне от 4,7 до 5,4 (настораживающий уровень). Индексы опасности для органов дыхания (3,4–5,1), соответствующие настораживающему уровню риска, в 2019, 2021–2023 гг. определялись влиянием взвешенных веществ, оксидов азота и диоксида серы. Суммарный индивидуальный канцерогенный риск находился на допустимом уровне.

**Ограничения исследования** заключались в использовании данных из доклада Министерства природных ресурсов и экологии Кузбасса о валовых выбросах и среднегодовых концентрациях загрязняющих атмосферный воздух веществ.

**Заключение.** Результаты оценки рисков при воздействии токсикантов атмосферного воздуха необходимо использовать для оптимизации управленческих решений, направленных на улучшение экологической обстановки в городе.

**Ключевые слова:** риск для здоровья населения; атмосферный воздух; загрязняющие вещества; угледобыча; Прокопьевск

**Соблюдение этических стандартов.** Данное исследование не требовало заключения этического комитета.

**Для цитирования:** Кислицына В.В., Суржиков Д.В., Ликонцева Ю.С., Штайгер В.А. Оценка ингаляционного риска для здоровья населения угледобывающего промышленного центра. *Гигиена и санитария*. 2025; 104(4): 531–536. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-4-531-536> <https://elibrary.ru/yehcwe>

**Для корреспонденции:** Кислицына Вера Викторовна, e-mail: [ecologia\\_nie@mail.ru](mailto:ecologia_nie@mail.ru)

**Участие авторов:** Кислицына В.В. — концепция и дизайн исследования, обзор литературы, написание текста, редактирование; Суржиков Д.В. — написание текста, редактирование; Ликонцева Ю.С. — сбор и обработка данных; Штайгер В.А. — сбор и обработка данных. 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: 27.12.2024 / Поступила после доработки: 03.03.2025 / Принята к печати: 26.03.2025 / Опубликовано: 30.04.2025

Vera V. Kislitsyna, Dmitry V. Surzhikov, Yuliya S. Likontseva, Varvara A. Shtaiger

## Assessment of inhalation risk to population health in a coal mining industrial center

Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Novokuznetsk, 654041, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** The activities of coal enterprises have an adverse effect on the ecological balance, leading to the withdrawal of significant territories from agricultural lands, degradation of natural resources, and air pollution, which affects the health of the population.

**The study aim** was to assess the risk to public health in the case of chronic inhalation of air pollutants from stationary sources in a coal-mining city (using the example of the city of Prokopyevsk in the Kemerovo region).

**Materials and methods.** The work used data on gross emissions into the atmosphere of Prokopyevsk from stationary sources and average annual concentrations of pollutants in 2019–2023 from the official report. Maximum permissible concentrations of atmospheric pollutants for 2019–2020 were determined in accordance with GIN 2.1.6.3492–17, for 2021–2023 — in accordance to the Sanitary Rules and Norms 1.2.3685–21. The risks to public health in case of chronic inhalation of toxicants were calculated on the base of the Guideline R 2.1.10.1920–04. The carcinogenic risk was assessed on the base of Guideline R 2.1.10.3968–23.

**Results.** The decrease in gross emissions of pollutants into the city's atmosphere from 2019 to 2023 amounted to 6,456 thousand tons (or 32.6%). The maximum permissible concentrations of suspended solids were found to be exceeded by 1.2–2.2 times, as well as nitrogen dioxide by 1.1 times in 2023, benz(a)pyrene — by 1.2 times in 2019 and 1.3 times in 2022, carbon monoxide — by 1.2 times in 2021. The hazard coefficient for chronic inhalation exposure to suspended matter (3.8) corresponded to a high risk level in 2019 and an alarming level in 2020–2023 (2.4–1.8). Alarming risk levels were also identified for exposure to nitrogen dioxide, benzo(a)pyrene, and carbon monoxide. The hazard index in 2019 was 7.1 (high risk), while in 2020–2023, the

*hazard indices ranged from 4.7 to 5.4 (alarming level). The respiratory hazard indices (3.4–5.1), corresponding to the alarming risk level during 2019, 2021–2023, were determined by the influence of suspended solids, nitrogen oxides, and sulfur dioxide. The total individual carcinogenic risk was at an acceptable level.*

*Limitations were consisted of using official data on gross emissions and average annual concentrations of substances in the work.*

*Conclusion. The results of the assessment of health risks from exposure to atmospheric toxicants should be used to optimize management solutions to improve the environmental situation in the city.*

**Keywords:** risk to public health; atmospheric air; pollutants; coal mining; Prokopyevsk

**Compliance with ethical standards.** This study did not require the conclusion of the Ethics Committee.

**For citation:** Kislitsyna V.V., Surzhikov D.V., Likontseva Yu.S., Shtaiger V.A. Assessment of inhalation risk to population health in a coal mining industrial center. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2025; 104(4): 531–536. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-4-531-536> <https://elibrary.ru/yehcwe> (In Russ.)

**For correspondence:** Vera V. Kislitsyna, e-mail: [ecologia\\_nie@mail.ru](mailto:ecologia_nie@mail.ru)

**Contribution:** Kislitsyna V.V. – concept and design of the study, literature review, writing the text, editing; Surzhikov D.V. – writing the text, editing; Likontseva Yu.S. – collection and processing of material; Shtaiger V.A. – collection and processing of material. 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: December 27, 2024 / Revised: March 3, 2025 / Accepted: March 26, 2025 / Published: April 30, 2025

## Введение

Кемеровская область – Кузбасс является основным угледобывающим регионом России [1]. Угольные предприятия оказывают неблагоприятное воздействие на экологическое равновесие региона, обуславливают выведение значительных территорий из земель сельскохозяйственного назначения, деградацию природных ресурсов [2]. Экологическая система Кузбасса стала нарушаться уже в период индустриализации, когда началась интенсивная разработка угольных месторождений. Природная среда в тот период рассматривалась только как ресурсная база, её эксплуатировали без учёта климатических и географических особенностей области, без проведения природоохранных мероприятий и разработки генеральных планов развития городов [3].

В промышленных регионах вклад факторов окружающей среды в ухудшение состояния здоровья населения может достигать 40–60% [4]. При этом установлено, что основной причиной нарушения здоровья является загрязнение атмосферного воздуха [5–7]. Предприятия по добыче полезных ископаемых вносят основной вклад (до 65%) в загрязнение воздушной среды Кемеровской области [8]. Наиболее значимой экологической проблемой являются выбросы промышленных объектов, расположенных в крупных городах Кузнецкой котловины, к которым относится и Прокопьевск [9], третий по численности населения город Кемеровской области. Долгое время Прокопьевск был одним из основных центров добычи коксующегося угля. Количество и качество местных углей определили строительство крупных шахт начиная с 30-х годов прошлого века. В период расцвета угольной промышленности в городе функционировало 16 угольных предприятий [10]. Интенсивная угледобыча привела к формированию неблагоприятной экологической обстановки и ухудшению социально-демографической ситуации. Если в 60-х годах прошлого века численность населения Прокопьевска достигала 290 тыс. человек, то в 2023 г., по данным Территориального органа Федеральной службы государственной статистики, этот показатель снизился до 172,6 тыс. человек. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 29.07.2014 г. № 1398-р (ред. от 13.05.2016 г.) «Об утверждении перечня моногородов» Прокопьевск включён в список моногородов с наиболее сложным социально-экономическим положением.

Для количественной оценки вреда, причиняемого здоровью населения промышленных регионов вследствие неблагоприятного влияния атмосферных выбросов, применяется методология оценки риска [11].

**Цель исследования** – оценить риск для здоровья населения при хроническом воздействии химических веществ, содержащихся в выбросах стационарных источников угледобывающего города (на примере г. Прокопьевска Кемеровской области).

## Материалы и методы

В настоящее время на территории Прокопьевского района функционируют шахты, угольные разрезы и углеобогатительные фабрики, многие из которых расположены в непосредственной близости от жилых зон. Кроме того, воздушную среду загрязняют выбросы угольных складов, породных отвалов и терриконов. В системе горячего водоснабжения и отопления города функционируют более двух десятков отопительных котельных, использующих в качестве топлива каменный уголь и характеризующихся низкими источниками выбросов.

Мониторинг состояния атмосферного воздуха Прокопьевска осуществляется на двух стационарных постах Кемеровским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиалом ФГБУ «Западно-Сибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» и Новокузнецкой гидрометеорологической обсерваторией. Стационарные посты располагаются в жилых массивах с плотной застройкой (ул. Коммунальная, д. 4, – Центральный район; ул. Институтская, д. 13, – Рудничный район). На постах определяют концентрации взвешенных веществ, диоксида азота, бенз(а)пирена, оксида углерода, оксида азота, диоксида серы, углерода (сажи). С 2021 г. замеры содержания углерода (сажи) не выполняются. В работе использовали данные о валовых выбросах стационарных источников в атмосферный воздух Прокопьевска в 2019–2023 гг. и среднегодовых концентрациях загрязняющих веществ (доклад Министерства природных ресурсов и экологии Кузбасса) [8]. Предельно допустимые концентрации (ПДК) атмосферных загрязнителей за 2019–2020 гг. определяли в соответствии с ГН 2.1.6.3492–17<sup>1</sup>, за 2021–2023 гг. – по СанПиН 1.2.3685–21<sup>2</sup>.

Общее количество проб атмосферного воздуха за период 2019–2023 гг., в том числе с превышением ПДК загрязняющих веществ, отражено в табл. 1.

Канцерогенные и неканцерогенные риски для здоровья населения Прокопьевска при хроническом воздействии атмосферных загрязнений рассчитаны на основе Руководства Р 2.1.10.1920–04<sup>3</sup>. Были определены риски развития неканцерогенных эффектов на основе расчёта коэффициентов опасности (НҚ) и индексов опасности (НІ), а также индексы

<sup>1</sup> Гигиенические нормативы «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений»: ГН 2.1.6.3492–17. Введены 22.12.2017 г.

<sup>2</sup> Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: СанПиН 1.2.3685–21. Введён 01.03.2021 г.

<sup>3</sup> Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду: Р 2.1.10.1920–04. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004.

Таблица 1 / Table 1

**Общее количество проб атмосферного воздуха и количество проб с превышением предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ**

Total number of atmospheric air samples and the number of samples with exceeded maximum allowable concentrations of pollutants

| Пробы<br>Samples   | Год / Year |       |      |      |      |
|--|------------|-------|------|------|------|
|  | 2019       | 2020  | 2021 | 2022 | 2023 |
| Общее количество / Total number  | 4302       | 4 056 | 2572 | 2478 | 4388 |
| С превышением предельно допустимых концентраций<br>With exceeding maximum allowable concentrations | 276        | 139   | 231  | 152  | 129  |

опасности (НІ) при одновременном поступлении нескольких веществ, оказывающих однонаправленное воздействие на критические органы и системы. При расчётах рисков периодом экспозиции для неканцерогенных эффектов считали 30 лет, для канцерогенных (при условии сохранения уровней концентраций загрязняющих веществ в течение этого времени) — 70 лет. Классификацию уровней рисков выполняли согласно МР 2.1.10.0156–19<sup>4</sup>.

**Результаты**

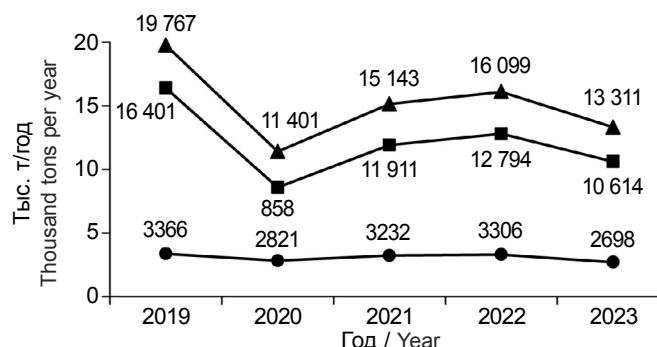
На рисунке представлена динамика выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух Прокопьевска от стационарных источников в 2019–2023 гг.

Валовые выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух Прокопьевска от стационарных источников снизились с 19,767 тыс. тонн в 2019 г. до 13,311 тыс. тонн в 2023 г., что составило 6,456 тыс. тонн (32,6%). Выявлена тенденция к уменьшению содержания твёрдых загрязняющих веществ в воздушной среде (с 3,366 тыс. тонн в 2019 г. до 2,698 тыс. тонн в 2023 г.). Выбросы газообразных и жидких загрязнителей, имеющих значительную долю в общем объёме, снизились с 16,401 тыс. тонн в 2019 г. до 10,614 тыс. тонн в 2023 г.

В табл. 2 представлены среднегодовые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе Прокопьевска в 2019–2023 гг., выраженные в мг/м<sup>3</sup> и долях предельно допустимых концентраций.

За изученный период выявлено превышение ПДК взвешенных веществ в 1,2–2,2 раза и диоксида азота в 1,1 раза в 2023 г., бенз(а)пирена — в 1,2 раза в 2019 г. и в 1,3 раза в 2022 г., оксида углерода — в 1,2 раза в 2021 г.

<sup>4</sup> Методические рекомендации: Состояние здоровья населения в связи с состоянием окружающей среды и условиями проживания населения. 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: МР 2.1.10.0156–19. Утверждены Роспотребнадзором от 02.12.2019 г. № МР 2.1.10.0156–19. Доступно: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_415503/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_415503/)



▲ Валовые выбросы / Gross emissions  
■ Твёрдые вещества / Solids  
● Газообразные и жидкие вещества / Gaseous and liquid substances

Динамика выбросов загрязняющих веществ в атмосферу Прокопьевска от стационарных источников в 2019–2023 гг.

Trend in pollutant emissions into the atmosphere of Prokopyevsk from stationary sources in 2019–2023.

В табл. 3 представлены рассчитанные коэффициенты (НҚ) и индексы опасности (НІ) загрязняющих веществ при хроническом ингаляционном воздействии.

Согласно МР 2.1.10.0156–19, значения коэффициентов опасности при воздействии взвешенных веществ соответствовали высокому уровню риска в 2019 г. (НҚ составил 3,8) и настораживающему уровню в 2020–2023 гг. (НҚ составил 2,4–1,8). Также настораживающие уровни риска выявлены при воздействии диоксида азота, бенз(а)пирена и оксида углерода (НҚ превышал 1 в отдельные годы). В табл. 4 представлены рассчитанные значения индексов опасности (НІ) по критическим органам и системам, наиболее подверженным воздействию загрязняющих веществ.

Таблица 2 / Table 2

**Среднегодовые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе Прокопьевска (мг/м<sup>3</sup> / доли предельно допустимых концентраций)**Average annual concentrations of pollutants in Prokopyevsk (mg/m<sup>3</sup> / shares of maximum allowable concentrations)

| Загрязняющее вещество<br>Pollutant     | Год / Year       |                  |                 |                 |                 |
|--|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|  | 2019             | 2020             | 2021            | 2022            | 2023            |
| Взвешенные вещества / Suspended solids | 0.285 / 1.9*     | 0.18 / 1.2*      | 0.150 / 2.0     | 0.165 / 2.2     | 0.135 / 1.8     |
| Диоксид азота / Nitrogen dioxide       | 0.032 / 0.8*     | 0.028 / 0.7*     | 0.032 / 0.8     | 0.040 / 1.0     | 0.044 / 1.1     |
| Бенз(а)пирен / Benzo(a)pyrene          | 0.0000012 / 1.2* | 0.0000007 / 0.7* | 0.0000005 / 0.5 | 0.0000013 / 1.3 | 0.0000007 / 0.7 |
| Оксид углерода / Carbon monoxide       | 2.4 / 0.8*       | 2.7 / 0.9*       | 3.6 / 1.2       | 0.6 / 0.2       | 1.5 / 0.5       |
| Оксиды азота / Nitric oxides           | 0.012 / 0.2*     | 0.012 / 0.2*     | 0.018 / 0.3     | 0.024 / 0.4     | 0.024 / 0.4     |
| Диоксид серы / Sulfur dioxide          | 0.010 / 0.2*     | 0.015 / 0.3*     | 0.010 / 0.2*    | 0.015 / 0.3*    | 0.010 / 0.2*    |
| Углерод (сажа) / Carbon (soot)         | 0.005 / 0.1*     | 0.005 / 0.1*     | 0.005 / 0.2*    | —               | —               |

Примечание. \* — в долях среднесуточной предельно допустимой концентрации.

Note: \* — in proportions of the average daily maximum allowable concentration.

Таблица 3 / Table 3

**Коэффициенты и индексы опасности при хроническом ингаляционном воздействии****Hazard coefficients and indices in chronic inhalation exposure**

| Загрязняющее вещество<br>Pollutant      | Год / Year |      |      |      |      |
|---|------------|------|------|------|------|
|   | 2019       | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
| Взвешенные вещества<br>Suspended solids | 3.8        | 2.4  | 2.0  | 2.2  | 1.8  |
| Диоксид азота<br>Nitrogen dioxide       | 0.8        | 0.7  | 0.8  | 1.0  | 1.1  |
| Бенз(а)пирен<br>Benzo(a)pyrene          | 1.2        | 0.7  | 0.5  | 1.3  | 0.7  |
| Оксид углерода<br>Carbon monoxide       | 0.8        | 0.9  | 1.2  | 0.2  | 0.5  |
| Оксиды азота<br>Nitric oxides           | 0.2        | 0.2  | 0.3  | 0.4  | 0.4  |
| Диоксид серы<br>Sulfur dioxide          | 0.2        | 0.3  | 0.2  | 0.3  | 0.2  |
| Углерод (сажа)<br>Carbon (soot)         | 0.1        | 0.1  | 0.1  | —    | —    |

Таблица 4 / Table 4

**Индексы опасности по критическим органам и системам организма****Hazard indices by crucial organs and systems of the body**

| Органы и системы<br>Organs and systems                | Год / Year |      |      |      |      |
|---|------------|------|------|------|------|
|   | 2019       | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
| Органы дыхания<br>Respiratory organs                  | 5.1        | 3.7  | 3.4  | 3.9  | 3.5  |
| Кровь<br>Blood  | 1.8        | 1.8  | 2.3  | 1.6  | 2.0  |
| Иммунная система<br>Immune system                     | 1.2        | 0.7  | 0.5  | 1.3  | 0.7  |
| Развитие<br>Development                               | 2.0        | 1.6  | 1.7  | 1.5  | 1.2  |
| Система кровообращения<br>Cardiovascular system       | 0.8        | 0.9  | 1.2  | 0.2  | 0.5  |
| Центральная нервная система<br>Central nervous system | 0.8        | 0.9  | 1.2  | 0.2  | 0.5  |

Таблица 5 / Table 5

**Индивидуальные и суммарные индивидуальные канцерогенные риски для здоровья населения****Individual and total individual carcinogenic risks to public health**

| Загрязняющее вещество<br>Pollutant | Год / Year           |                      |                      |
|------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                                    | 2019                 | 2020                 | 2021                 |
| Бенз(а)пирен<br>Benz(a)pyrene      | $1.28 \cdot 10^{-6}$ | $7.48 \cdot 10^{-7}$ | $5.34 \cdot 10^{-7}$ |
| Углерод (сажа)<br>Carbon (soot)    | $2.12 \cdot 10^{-5}$ | $2.12 \cdot 10^{-5}$ | $2.12 \cdot 10^{-5}$ |
| Суммарный риск<br>Total risk       | $2.25 \cdot 10^{-5}$ | $2.19 \cdot 10^{-5}$ | $2.18 \cdot 10^{-5}$ |

Высокие значения индекса опасности для органов дыхания (НІ 3,4–5,1) соответствуют настораживающему уровню риска и определяются загрязнением атмосферного воздуха взвешенными веществами, оксидами азота и диоксидом серы. Индекс опасности (НІ 1,6–2,3) для крови индуцируют оксиды азота и оксид углерода; индекс опасности для иммунной системы (НІ 0,5–1,3) формирует бенз(а)пирен; для развития (НІ 1,5–2) — бенз(а)пирен и оксид углерода; для системы кровообращения (НІ 0,2–1,2) и центральной нервной системы (НІ 0,2–1,2) — оксид углерода. Согласно МР 2.1.10.0156–19, такие индексы опасности соответствуют допустимому или минимальному уровням риска.

В табл. 5 представлены значения индивидуальных и суммарных индивидуальных канцерогенных рисков для здоровья населения, формируемых воздействием бенз(а)пирена и углерода (сажи).

Суммарный индивидуальный канцерогенный риск, связанный с загрязнением атмосферного воздуха бенз(а)пиреном и углеродом (сажей), находился на допустимом уровне. Основной примесью в атмосферном воздухе, определяющей уровень канцерогенного риска, был углерод (сажа).

**Обсуждение**

Состояние атмосферного воздуха промышленных городов Кемеровской области остаётся одним из основных факторов ухудшения здоровья населения [12]. Проведённое исследование выявило снижение общей массы выбросов загрязняющих веществ в воздушную среду Прокопьевска от стационарных источников с 19,767 тыс. тонн в 2019 г. до 13,311 тыс. тонн в 2023 г., что связано преимущественно со снижением угледобычи и закрытием предприятий. Снижение составило 6,456 тыс. тонн (32,6%). Также наблюдалось снижение содержания твёрдых загрязняющих веществ в воздушной среде (с 3,366 тыс. тонн в 2019 г. до 2,698 тыс. тонн в 2023 г.). Выбросы газообразных и жидких поллютантов, составляющих значительную долю в общем объёме, снизились с 16,401 тыс. тонн в 2019 г. до 10,614 тыс. тонн в 2023 г. При этом выявлено превышение ПДК взвешенных веществ в 1,2–2,2 раза и диоксида азота в 1,1 раза в 2023 г., бенз(а)пирена — в 1,2 раза в 2019 г. и в 1,3 раза в 2022 г., оксида углерода — в 1,2 раза в 2021 г. Высокие концентрации перечисленных загрязнителей определяются в основном деятельностью угольных предприятий и котельных. Значения коэффициентов опасности при хроническом ингаляционном воздействии взвешенных веществ соответствовали высокому уровню риска в 2019 г. (НҚ составил 3,8) и настораживающему уровню — в 2020–2023 гг. (НҚ составил 2,4–1,8). Также настораживающие уровни риска выявлены при воздействии диоксида азота, бенз(а)пирена и оксида углерода (НҚ превышал 1 в отдельные годы). Высокие значения индекса опасности для органов дыхания (НІ 3,4–5,1), соответствующие настораживающему уровню в 2019, 2021–2023 гг., определялись загрязнением атмосферного воздуха взвешенными веществами, оксидами азота и диоксидом серы. Индекс опасности для крови (НІ 1,6–2,3) индуцируют оксиды азота и оксид углерода; индекс опасности для иммунной системы (НІ 0,5–1,3) — бенз(а)пирен; для развития (НІ 1,5–2) — бенз(а)пирен и оксид углерода; для системы кровообращения (НІ 0,2–1,2) и центральной нервной системы (НІ 0,2–1,2) — оксид углерода. Такие индексы опасности соответствуют допустимому или минимальному уровням риска. Суммарный индивидуальный канцерогенный риск, связанный с загрязнением атмосферного воздуха бенз(а)пиреном и углеродом (сажей), находится на допустимом уровне.

С использованием методологии оценки риска были выделены приоритетные вещества, вносящие основной вклад в загрязнение атмосферного воздуха Прокопьевска, дана количественная оценка уровням неканцерогенного и канцерогенного рисков, определены критические органы и системы, на которые оказывают наибольшее воздействие атмосферные загрязнения. Полученные результаты согласуются с аналогичными исследованиями [13, 14].

Для улучшения сложившейся в городе ситуации Постановлением Правительства Российской Федерации от 03.12.2018 г. № 1470 в границах Прокопьевского городского округа создана Территория опережающего социально-экономического развития (ТОСЭР), для которой характерен особый правовой режим предпринимательской деятельности. Основным направлением развития ТОСЭР определено снижение зависимости от деятельности градообразующих предприятий [15–17]. Для этого в Прокопьевске предполагается развитие текстильной, пищевой, сельскохозяйственной, машиностроительной и других отраслей промышленности.

**Ограничения исследования** заключались в использовании данных из доклада Министерства природных ресурсов и экологии Кузбасса о валовых выбросах и среднегодовых концентрациях загрязняющих атмосферный воздух веществ.

## Заключение

Исследование выявило снижение общей массы выбросов загрязняющих веществ в воздушную среду Прокопьевска от стационарных источников в 2019–2023 гг. Приоритетными атмосферными загрязнениями, определяющими при хроническом ингаляционном воздействии формирование высоких истораживающих уровней неканцерогенного риска, являются взвешенные вещества, диоксид азота, бенз(а)пирен и оксид углерода. Высокие значения индекса опасности для органов дыхания, соответствующиестораживающему уровню риска, определяются загрязнением воздушной среды города взвешенными веществами, оксидами азота и диоксидом серы.

Полученные результаты оценки рисков для здоровья в результате воздействия химических веществ, загрязняющих атмосферный воздух, необходимо использовать при оптимизации управленческих решений для улучшения экологической обстановки в городе. Риск-ориентированный подход следует применять при оценке эффективности запланированных воздухоохраных мероприятий не только по показателю удельной стоимости снижения выбросов, но и по показателю удельной стоимости снижения риска для здоровья жителей города. Таким образом, применение методологии анализа риска предоставляет информационную базу не только лицам, отвечающим за санитарно-эпидемиологическое благополучие, но и природоохранным органам. Результаты оценки риска могут использоваться при обосновании выбора и финансирования приоритетных мероприятий в интересах здоровья населения. Также рекомендуется расширение мероприятий, направленных на уменьшение выбросов в атмосферный воздух загрязняющих веществ, оптимизацию и повышение эффективности пылеулавливающих установок котельных, а также использование экологически безопасных источников энергии. Кроме того, статус ТОСЭР должен привлечь инвестиции, привлечь средний и крупный бизнес, что обеспечит социально-экономические перспективы развития города [18–20] и улучшит экологическую обстановку.

В будущих исследованиях следует учитывать влияние атмосферных выбросов не только стационарных источников, но и транспорта (в том числе автомобильного), а также других не учтенных в данной работе источников и при необходимости уточнить список приоритетных загрязняющих веществ.

## Литература

1. Зайцева Е.А., Шарапова Ю.С., Вторушина А.Н. Оценка экологической безопасности для населения Кемеровской области. *XXI век. Техносферная безопасность*. 2022; 7(1): 85–95. <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2022-1-85-95> <https://elibrary.ru/zlfssi>
2. Радионова Е.А., Слесаренко Е.В. Оценка экологической безопасности промышленных регионов (на примере Кемеровской области). *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. 2019; 15(3): 575–92. <https://doi.org/10.24891/ni.15.3.575> <https://elibrary.ru/yzinud>
3. Шмыглева А.В. Антропогенное воздействие как фактор деградации экосистем Западной Сибири в советский период. *Вестник Сургутского государственного педагогического университета*. 2017; (6): 48–54. <https://elibrary.ru/xouiw1>
4. Сковронская С.А., Мешков Н.А., Вальцева Е.А., Иванова С.В. Приоритетные факторы риска для здоровья населения крупных промышленных городов. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(4): 459–67. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-4-459-467> <https://elibrary.ru/sjqpzc>
5. Мякишева Ю.В., Федосейкина И.В., Михайлюк Н.А., Сказкина О.Я., Алешина Ю.А., Павлов А.Ф. Влияние загрязнения атмосферного воздуха на формирование риска здоровью населения экологически неблагоприятного района крупного промышленного центра. *Здоровье населения и среда обитания — ЗНУСО*. 2022; 30(3): 44–52. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-3-44-52> <https://elibrary.ru/vfnfsm>
6. Кузьмин С.В., Додина Н.С., Шашина Т.А., Кислицын В.А., Пинигин М.А., Бударина О.В. Воздействие атмосферных загрязнений на здоровье населения: диагностика, оценка и профилактика. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(10): 1145–50. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-10-1145-1150> <https://elibrary.ru/eplgkr>
7. Карелин А.О., Ломтев А.Ю., Волкодаева М.В., Еремин Г.Б. Совершенствование подходов к оценке воздействия антропогенного загрязнения атмосферного воздуха на население в целях управления рисками для здоровья. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(1): 82–6. <https://elibrary.ru/ywahhv>
8. Министерство природных ресурсов и экологии Кузбасса. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области — Кузбасса в 2023 году; 2024. Доступно: [https://ecokem.ru/wp-content/uploads/2024/07/doklad\\_2023.pdf](https://ecokem.ru/wp-content/uploads/2024/07/doklad_2023.pdf)
9. Рябов В.А., Мамасёв П.С. Экологический фактор качества жизни населения индустриального региона. *География и природные ресурсы*. 2019; (S5): 197–201. <https://elibrary.ru/tajrcq>
10. Карпинец А.Ю., Пьянов А.Е. Шахтёрский город Кузбасса Прокопьевск в первой половине 1930-х годов: проблемы быта горняков и благоустройства нового города (по материалам местной периодической печати). *Научный диалог*. 2023; 12(9): 409–25. <https://doi.org/10.24224/2227-1295-2023-12-9-409-425> <https://elibrary.ru/yfqngj>
11. Зайцева Н.В., Онищенко Г.Г., Май И.В., Шур П.З. Развитие методологии анализа риска здоровью в задачах государственного управления санитарно-эпидемиологическим благополучием населения. *Анализ риска здоровью*. 2022; (3): 4–20. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.3.01> <https://elibrary.ru/imrune>
12. Суржиков Д.В., Кислицына В.В., Корсакова Т.Г., Мотуз И.Ю., Штайгер В.А. О реализации эколого-гигиенических исследований в промышленном регионе. *Медицина в Кузбассе*. 2021; 20(3): 32–8. <https://doi.org/10.24412/2687-0053-2021-3-32-38> <https://elibrary.ru/ybwgdv>
13. Рахманин Ю.А., Додина Н.С., Алексеева А.В. Современные методические подходы к оценке риска здоровью населения от воздействия химических веществ. *Анализ риска здоровью*. 2023; (4): 33–41. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.4.03> <https://elibrary.ru/pxekfb>
14. Кислицына В.В., Ликонцева Ю.С., Суржиков Д.В., Голиков Р.А. Сравнительная оценка риска нарушения здоровья населения двух промышленных центров Кузбасса от воздействия атмосферных загрязнений. *Медицина труда и промышленная экология*. 2023; 63(7): 468–73. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-7-468-473> <https://elibrary.ru/kxbtoy>
15. Фомин М.В., Безвербный В.А., Шушпанова И.С., Микрюков Н.Ю., Лукашенко Е.А., Мирязов Т.Р. Моногорода Сибири и Дальнего Востока России: потенциал и перспективы развития. *Вопросы государственного и муниципального управления*. 2020; (1): 137–65. <https://elibrary.ru/guinyw>
16. Боровиков А.С., Бахаев И.Ю., Гец Э.Я. Прокопьевск — территория опережающего социально-экономического развития. *Вестник науки*. 2019; 3(5): 196–9. <https://elibrary.ru/gulkij>
17. Фридман Ю.А., Речко Г.Н., Логинова Е.Ю. «Кузбасс» и «уголь» в контексте совершенствования механизмов гармонизации раз-

- вятия. *Мир экономики и управления*. 2019; 19(2): 89–98. <https://doi.org/10.25205/2542-0429-2019-19-2-89-98> <https://elibrary.ru/zpsirg>
18. Кулай С.В., Тютченко К.В., Федотова С.С. Направления развития перспективного района для комфортного проживания жителей моногорода (на примере города Прокопьевска). *Экономика и социум*. 2020; (1): 531–4. <https://elibrary.ru/ajscej>
19. Гурова О.Н. Территории опережающего развития в Сибирских регионах: особенности и проблемы. *Географический вестник*.

2021; (2): 50–64. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2021-2-50-64> <https://elibrary.ru/tsuket>

20. Ганченко Д.Н. Трудовые ресурсы территорий опережающего социально-экономического развития Кемеровской области: проблемы и перспективы. *Экономика труда*. 2019; 6(1): 193–208. <https://doi.org/10.18334/et.6.1.39773> <https://elibrary.ru/qjwggz>

## References

- Zaitseva E.A., Sharapova J.S., Vtorushina A.N. Assessment of environmental safety of the population in Kemerovo region. *XXI vek. Tekhnosferная bezopasnost'*. 2022; 7(1): 85–95. <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2022-1-85-95> <https://elibrary.ru/zlfsi> (in Russian)
- Radionova E.A., Slesarenko E.V. Evaluation of the environmental security of industrial regions: evidence from the Kemerovo oblast. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost'*. 2019; 15(3): 575–92. <https://doi.org/10.24891/ni.15.3.575> <https://elibrary.ru/yzinud> (in Russian)
- Shmygleva A.V. Anthropogenic factor in degradation of ecosystems in Western Siberia in the Soviet period. *Vestnik Surgutskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta*. 2017; (6): 48–54. <https://elibrary.ru/xouiwl> (in Russian)
- Skovronskaya S.V., Meshkov N.A., Valtseva E.A., Ivanova S.V. Priority risk factors for population health in large industrial cities. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(4): 459–67. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-4-459-467> <https://elibrary.ru/sjqpzc> (in Russian)
- Myakisheva Yu.V., Fedoseikina I.V., Mikhayluk N.A., Skazkina O.Ya., Aleshina Yu.A., Pavlov A.F. Ambient air pollution and population health risks in a contaminated area of a large industrial center. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO*. 2022; 30(3): 44–52. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-3-44-52> <https://elibrary.ru/vfnfsm> (in Russian)
- Kuzmin S.V., Dodina N.S., Shashina T.A., Kislitsin V.A., Pinigin M.A., Budarina O.V. The impact of atmospheric pollution on public health: diagnosis, assessment, and prevention. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(10): 1145–50. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-10-1145-1150> <https://elibrary.ru/eplgrk> (in Russian)
- Karelin A.O., Lomtev A.Yu., Volkodaeva M.V., Yeregin G.B. The improvement of approaches to the assessment of effects of the anthropogenic air pollution on the population in order to management the risk for health. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(1): 82–6. <https://elibrary.ru/ywahhv> (in Russian)
- Ministry of Natural Resources and Ecology of Kuzbass. Report on the state and protection of the environment of the Kemerovo region – Kuzbass in 2023; 2024. Available at: [https://ecokem.ru/wp-content/uploads/2024/07/doklad\\_2023.pdf](https://ecokem.ru/wp-content/uploads/2024/07/doklad_2023.pdf) (in Russian)
- Ryabov V.A., Mamasev P.S. The environmental factor of the quality of life of the population industrial region. *Geografiya i prirodnye resursy*. 2019; (S5): 197–201. <https://elibrary.ru/tajrcq> (in Russian)
- Karpinets A.Yu., Pyanov A.E. Mining town of Kuzbass Prokopyevsk in first half of 1930s: problems of miner's everyday life and improvement of new city (local periodicals). *Nauchnyi dialog*. 2023; 12(9): 409–25. <https://doi.org/10.24224/2227-1295-2023-12-9-409-425> <https://elibrary.ru/yfqngj> (in Russian)
- Zaitseva N.V., Onishchenko G.G., May I.V., Shur P.Z. Developing the methodology for health risk assessment within public management of sanitary-epidemiological welfare of the population. *Health Risk Analysis*. 2022; (3): 4–20. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.3.01> <https://elibrary.ru/naciyf>
- Surzhikov D.V., Kislitsyna V.V., Korsakova T.G., Motuz I.Yu., Shtaiger V.A. On the implementation of ecological and hygienic research in the industrial region. *Meditsina v Kuzbasse*. 2021; 20(3): 32–8. <https://doi.org/10.24412/2687-0053-2021-3-32-38> <https://elibrary.ru/ybwgdv> (in Russian)
- Rakhmanin Yu.A., Dodina N.S., Alekseeva A.V. Modern methodological approaches to assessing public health risks due to chemicals exposure. *Health Risk Analysis*. 2023; (4): 33–41. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.4.03> <https://elibrary.ru/hjdjot>
- Kislitsyna V.V., Likontseva Yu.S., Surzhikov D.V., Golikov R.A. Comparative assessment of the risk of health disorders of the population at two industrial centers of Kuzbass from exposure to atmospheric pollution. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2023; 63(7): 468–73. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-7-468-473> <https://elibrary.ru/kxbtoy> (in Russian)
- Fomin M.V., Bezverbnny V.A., Shushpanova I.S., Mikryukov N.Yu., Lukashenko E.A., Miriazov T.R. Company towns of the Siberia and Russian Far East: potential and development prospects. *Voprosy gosudarstvennogo i munitsipalnogo upravleniya*. 2020; (1): 137–65. <https://elibrary.ru/guinyw> (in Russian)
- Borovikov A.S., Bakhaev I.Yu., Gets E.Ya. Prokopyevsk is a territory of rapid socio-economic development. *Vestnik nauki*. 2019; 3(5): 196–9. <https://elibrary.ru/gulkij> (in Russian)
- Fridman Yu.A., Rechko G.N., Loginova E.Yu. «Kuzbass» and «coal» in the context of perfecting development harmonization mechanisms. *Mir ekonomiki i upravleniya*. 2019; 19(2): 89–98. <https://doi.org/10.25205/2542-0429-2019-19-2-89-98> <https://elibrary.ru/zpsirg> (in Russian)
- Kulai S.V., Tyutchenko K.V., Fedotova S.S. Directions of development of perspective district for comfortable living of residents of monocities (on the example of the city of Prokopyevsk). *Ekonomika i sotsium*. 2020; (1): 531–4. <https://elibrary.ru/ajscej> (in Russian)
- Gurova O.N. Priority socio-economic development areas in Siberian regions: features and problems. *Geograficheskii vestnik*. 2021; (2): 50–64. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2021-2-50-64> <https://elibrary.ru/tsuket> (in Russian)
- Ganchenko D.N. Labor resources of the territories of priority socio-economic development of the Kemerovo region: problems and prospects. *Ekonomika truda*. 2019; 6(1): 193–208. <https://doi.org/10.18334/et.6.1.39773> <https://elibrary.ru/qjwggz> (in Russian)

## Сведения об авторах

**Кислицына Вера Викторовна**, канд. мед. наук, вед. науч. сотр. лаб. экологии человека и гигиены окружающей среды ФГБНУ «НИИ КПГПЗ», 654041, Новокузнецк, Россия. E-mail: [ecologia\\_nie@mail.ru](mailto:ecologia_nie@mail.ru)

**Суржиков Дмитрий Вячеславович**, доктор биол. наук, доцент, зав. лаб. экологии человека и гигиены окружающей среды ФГБНУ «НИИ КПГПЗ», 654041, Новокузнецк, Россия. E-mail: [ecologia\\_nie@mail.ru](mailto:ecologia_nie@mail.ru)

**Ликонцева Юлия Сергеевна**, науч. сотр. лаб. экологии человека и гигиены окружающей среды ФГБНУ «НИИ КПГПЗ», 654041, Новокузнецк, Россия. E-mail: [ecologia\\_nie@mail.ru](mailto:ecologia_nie@mail.ru)

**Штайгер Варвара Адамовна**, науч. сотр. лаб. экологии человека и гигиены окружающей среды ФГБНУ «НИИ КПГПЗ», 654041, Новокузнецк, Россия. E-mail: [ecologia\\_nie@mail.ru](mailto:ecologia_nie@mail.ru)

## Information about the authors

**Vera V. Kislitsyna**, PhD (Medicine), leading researcher of the Laboratory of Human Ecology and Environmental Hygiene, Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Novokuznetsk, 654041, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-2495-6731> E-mail: [ecologia\\_nie@mail.ru](mailto:ecologia_nie@mail.ru)

**Dmitry V. Surzhikov**, DSc (Biology), Associate Professor, Head of the Laboratory of Human Ecology and Environmental Hygiene, Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Novokuznetsk, 654041, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-7469-4178> E-mail: [ecologia\\_nie@mail.ru](mailto:ecologia_nie@mail.ru)

**Yuliya S. Likontseva**, researcher of the Laboratory of Human Ecology and Environmental Hygiene, Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Novokuznetsk, 654041, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-8468-2533> E-mail: [ecologia\\_nie@mail.ru](mailto:ecologia_nie@mail.ru)

**Varvara A. Shtaiger**, researcher of the Laboratory of Human Ecology and Environmental Hygiene, Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Novokuznetsk, 654041, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-4628-3133> E-mail: [ecologia\\_nie@mail.ru](mailto:ecologia_nie@mail.ru)