

Читайте  
онлайн  
Read  
onlineЕфимова Н.В.<sup>1,2</sup>, Кузьмина М.В.<sup>2</sup>, Бобкова Е.В.<sup>1,3</sup>

## Оценка годовой динамики химического аэрогенного риска для здоровья и смертности населения промышленного центра

<sup>1</sup>ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665827, Ангарск, Россия;<sup>2</sup>ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Иркутской области», 664047, Иркутск, Россия;<sup>3</sup>ОГКУЗ «Медицинский информационно-аналитический центр Иркутской области», 665003, Иркутск, Россия

**Введение.** Загрязнение атмосферного воздуха промышленных центров определяет высокие уровни риска для здоровья, вызывая избыточную смертность, особенно в результате болезней систем кровообращения (БСК), дыхания (БОД).

**Цель исследования** — анализ зависимости сезонной динамики химических аэрополлютантов и смертности от основных неинфекционных заболеваний населения промышленного центра Восточной Сибири.

**Материалы и методы.** Исследования выполнены на примере г. Братска, оценка загрязнения атмосферного воздуха проведена по данным государственных систем мониторинга за 2017–2022 гг., учтены разовые, среднемесячные и годовые концентрации. Рассчитаны индексы опасности веществ одностороннего действия по среднегодовым концентрациям. Изучены коэффициенты смертности (КС) от основных причин у населения по возрастам: 20–39, 40–64, 65+ лет. Годовая динамика показателей оценена с помощью индексов сезонности (ИС).

**Результаты.** Выявлены особенности сезонной динамики аэрополлютантов: максимальные колебания ИС характерны для бенз(а)пирена (22% — в тёплый сезон, 214% — в холодный), формальдегида (219 и 65% соответственно). Размах ИС прочих веществ невелик (60–140%) и коррелирует между собой, что может отражать единство основных источников выбросов. ИС смертности имел значительные колебания в течение года и различался по возрастным группам и классам болезней. Кроме того, отмечены изменения сезонности в период пандемии COVID-19. Среднемесячные КС ассоциированы с концентрациями аэрополлютантов (PM<sub>2.5</sub>, формальдегида, NO<sub>2</sub>) преимущественно в старшей группе.

**Ограничения исследования** связаны с ограниченностью данных мониторинга аэрополлютантов, неизбежными погрешностями при условном делении на сезоны года, невозможностью точного определения причины смерти в период пандемии.

**Заключение.** Использование среднемесячных данных о величинах КС и концентрациях аэрополлютантов позволяет подтвердить ассоциированность сезонности загрязнения воздушной среды и смертности населения городов с высокими уровнями индексов опасности.

**Ключевые слова:** аэрополлютанты; индекс опасности; коэффициент смертности; годовая динамика

**Соблюдение этических стандартов.** Исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

**Для цитирования:** Ефимова Н.В., Кузьмина М.В., Бобкова Е.В. Оценка годовой динамики химического аэрогенного риска для здоровья и смертности населения промышленного центра. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(12): 1375–1380. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-12-1375-1380> <https://elibrary.ru/zpeuto>

**Для корреспонденции:** Ефимова Наталья Васильевна, доктор мед. наук, профессор, вед. науч. сотр. лаб. эколого-гигиенических исследований ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665827, Ангарск. E-mail: medecolab@inbox.ru

**Участие авторов:** Ефимова Н.В. — концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование; Кузьмина М.В. — сбор материала и статистическая обработка данных, редактирование; Бобкова Е.В. — сбор материала и статистическая обработка данных, редактирование. 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 выполнено в рамках государственного задания ФГБНУ ВСИМЭИ, ФБУЗ ЦГиЭ в Иркутской области.

Поступила: 09.10.2023 / Принята к печати: 15.11.2023 / Опубликовано: 28.12.2023

Natalia V. Efimova<sup>1,2</sup>, Marina V. Kuzmina<sup>2</sup>, Elena V. Bobkova<sup>1,3</sup>

## Assessment of the annual trend of chemical aerogenic risk to health and mortality of the population at an industrial center

<sup>1</sup>East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, 665827, Angarsk, Russian Federation;<sup>2</sup>Center for Hygiene and Epidemiology in the Irkutsk Region, Irkutsk, 664047, Russian Federation;<sup>3</sup>Medical Information and Analytical Center of the Irkutsk Region, 665003, Irkutsk, Russian Federation

**Introduction.** Ambient air pollution determines high levels of risk to public health, causing excess mortality.

**The purpose of the study** is to analyze the dependence of the seasonal dynamics of pollutants and mortality from major non-infectious diseases in the population of the industrial center of Eastern Siberia.

**Materials and methods.** Air pollution in Bratsk was assessed based on data from monitoring systems for 2017–2022, taking into account one-time, average monthly and annual concentrations. Hazard indices and mortality rates (MR) from major causes were calculated. The annual trend in indicators are assessed using seasonality indices (SI).

**Results.** Features of the seasonal dynamics of pollutants were revealed: maximum fluctuations in SI are characteristic of benzo(a)pyrene (22% in the warm season, 214% in the cold season), formaldehyde (219 and 65%, respectively). The SI for mortality had significant fluctuations throughout the year and varied across age groups and disease classes. Changes in seasonality have been noted during the COVID-19 pandemic. Average monthly MR in the older group is associated with concentrations of PM<sub>2.5</sub>, formaldehyde, NO<sub>2</sub>.

**Limitations** of the study are related to the limited data on monitoring pollutants, inevitable errors in conditional division into seasons, and the impossibility of accurately determining the cause of death during a pandemic.

**Conclusion.** The use of average monthly data on MR values and pollutant concentrations confirms the dependence of population mortality on air pollution when studying this phenomenon in medium-sized cities with high levels of hazard indices.

**Keywords:** air pollutants; hazard index; mortality rate; annual trend

**Compliance with ethical standards.** The study does not require submission of the opinion of the biomedical ethics committee or other documents.

**For citation:** Efimova N.V., Kuzmina M.V., Bobkova E.V. Assessment of the annual trend in chemical aerogenic risk to health and mortality of the population at an industrial center. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(12): 1375–1380. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-12-1375-1380> <https://elibrary.ru/zpauto> (In Russ.)

**For correspondence:** Natalya V. Efimova, MD, PhD, DSci., Professor, Leading Researcher, Laboratory of environmental and hygienic research East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, 665827, Angarsk, Russian Federation. E-mail: medecolab@inbox.ru

**Information about authors:**

Efimova N.V., <https://orcid.org/0000-0001-7218-2147> Kuzmina M.V., <https://orcid.org/0000-0002-5723-839X> Bobkova E.V., <https://orcid.org/0000-0001-8914-7903>

**Contributions:** Efimova N.V. – the concept and design of the study, writing the text, editing; Kuzmina M.V. – collection of material and data processing, editing; Bobkova E.V. – collection of material and data processing, editing. 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 was carried out within the framework of the state assignment of East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, the Centre Hygiene and Epidemiology in the Irkutsk region.

Received: October 9, 2023 / Accepted: November 15, 2023 / Published: December 28, 2023

## Введение

Индустриальное освоение Сибири привело к формированию промышленно-энергетических комплексов, включающих предприятия с широким спектром веществ, обладающих разнонаправленным действием. К числу таких городов относятся и участники федерального проекта «Чистый воздух»: Братск, Новокузнецк, Красноярск и др. Для указанных промышленных центров характерны высокие и очень высокие уровни загрязнения атмосферного воздуха [1]. По данным Н.В. Зайцевой с соавт., в 2022 г. при хроническом ингаляционном воздействии риск формирования болезней органов дыхания оценивался как «настораживающий» в Братске, Новокузнецке, Магнитогорске, а в других городах – участниках проекта «Чистый воздух» как «высокий» [2].

Природно-климатические условия Иркутской области характеризуются антициклональным режимом погоды с большой повторяемостью и мощностью инверсионных явлений, что затрудняет перенос и рассеивание загрязняющих веществ в приземных слоях атмосферы [3]. Сочетание вышеуказанных причин привело к особенно высокому загрязнению приземных слоев атмосферы в г. Братске, где размещены предприятия по производству алюминия, лесохимического комплекса, ТЭЦ. Достаточно подробно уровни и динамика загрязнения атмосферы, риски для здоровья населения Братска, связанные с ингаляционным воздействием, представлены в ряде работ [4–6]. В настоящее время отмечается нормативно-методическая ограниченность существующей системы нормирования твердых частиц, содержащихся в выбросах различных источников, что не позволяет получить корректные данные на расчетных моделях рассеивания твердых частиц в атмосферном воздухе [7]. Большое число исследований, выполненных в ряде стран, свидетельствует о негативном влиянии твердых частиц разной дисперсности на организм, что приводит к росту потерь индивидуального и популяционного здоровья [8–11]. Загрязнение атмосферного воздуха является одним из основных глобальных рисков, вызывая значительную избыточную смертность, особенно в результате сердечно-сосудистых заболеваний, конкурируя с избыточной смертностью, ассоциированной с табакокурением [12, 13].

Цель исследования – анализ зависимости сезонной динамики химических аэрополлютантов и смертности от основных неинфекционных заболеваний населения промышленного центра Восточной Сибири.

## Материалы и методы

В качестве объекта исследования выбран г. Братск, постоянно входящий в список наиболее загрязненных городов Российской Федерации, на территории которого с 2019 г. реализуется федеральный проект «Чистый воздух». Численность населения в городе на 01.01.2023 г. составила

221,2 тыс. человек, а количество вредных веществ, попавших в атмосферный воздух, в расчёте на одного жителя за 2017–2022 гг. – 500 кг/чел. Оценка загрязнения атмосферного воздуха проведена по данным социально-гигиенического мониторинга, включающего результаты наблюдения на постах мониторинга ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в г. Братске», и материалам, предоставленным информационным фондом ФГБУ «Иркутское управление гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» за 2017–2022 гг. Максимальным результатом наблюдения по разовым пробам принят 95-й процентиль вариационного ряда за изучаемый период. Проведён анализ максимальных разовых, среднемесячных и среднегодовых концентраций аэрополлютантов. Гигиеническая оценка среднемесячных концентраций дана в сравнении со среднесуточными предельно допустимыми концентрациями (ПДКсс), представленными в СанПиН 1.2.3685–21<sup>1</sup>, среднегодовых концентраций – с референтными концентрациями для хронического (RfCch) воздействия, приведёнными в Р 2.1.10.1920–04<sup>2</sup>. Рассчитаны индексы опасности для БСК (Н<sub>БСК</sub>), БОД (Н<sub>БОД</sub>). В качестве компонентов суммарных индексов опасности рассмотрены: для Н<sub>БСК</sub>: РМ<sub>2,5</sub>, РМ<sub>10</sub>, оксид углерода (СО), диоксид серы (SO<sub>2</sub>), бензол, фенол; для Н<sub>БОД</sub>: РМ<sub>2,5</sub>, РМ<sub>10</sub>, оксид углерода (СО), диоксид серы (SO<sub>2</sub>), формальдегид, диоксид азота (NO<sub>2</sub>), гидрофторид, твёрдые фториды, фенол.

В исследовании использованы полученные по запросу сведения Росстата о числе умерших за сутки в период 2017–2022 гг. с указанием причин смерти. Для оценки влияния возраста на коэффициент смертности (КС) мы использовали следующее разбиение: 20–39, 40–64, 65 лет и старше. Выбор возрастных групп был обусловлен необходимостью баланса между двумя факторами: первый – существенно более низкий уровень смертности в младших возрастных группах делал необходимым для корректного проведения статистического анализа включение в группу больший возрастной диапазон, второй – необходимость детально проанализировать влияние загрязнения на смертность в зависимости от возраста. Причины смерти определялись в соответствии с Краткой номенклатурой причин смерти Росстата, основанной на МКБ-10. Поскольку, по данным ВОЗ, загрязнение атмосферного воздуха в наибольшей степени влияет на смертность от ишемической болезни сердца, рака лёгкого и хронической обструктивной болезни лёгких [8], то в данное исследование были включены следующие причины смерти от неинфекционных заболеваний. Из класса «Болезни системы кровообращения» (БСК) учтены коды причин смерти МКБ-10: I10–I69 (ишемическая болезнь сердца, инфаркт,

<sup>1</sup> СанПиН 1.2.3685–21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.

<sup>2</sup> Р 2.1.10.1920–0. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М., 2004.

Таблица 1 / Table 1

## Среднемесячное содержание загрязнителей в атмосферном воздухе Братска за 2017–2022 гг.

## Average monthly content of pollutants in the air of Bratsk for 2017–2022

| Загрязнители<br>Pollutants               | Кратность среднесуточной ПДК<br>Multiplicity of average daily maximum permissible concentration |                    |                     |                |                | Коэффициент вариации, %<br>Coefficient of variation, % |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------------|----------------|----------------|--------------------------------------------------------|
|                                          | Me                                                                                              | минимум<br>minimum | максимум<br>maximum | Q <sub>1</sub> | Q <sub>3</sub> |                                                        |
| Взвешенные вещества / Particulate matter | 0.10                                                                                            | 0.02               | 1.03                | 0.03           | 0.64           | 124.1                                                  |
| PM <sub>10</sub>                         | 0.63                                                                                            | 0.35               | 2.07                | 0.48           | 0.73           | 62.7                                                   |
| PM <sub>2,5</sub>                        | 0.96                                                                                            | 0.46               | 3.37                | 0.72           | 1.12           | 69.5                                                   |
| Оксид углерода / Carbon monoxide         | 0.10                                                                                            | 0.07               | 0.20                | 0.07           | 0.13           | 39.3                                                   |
| Диоксид азота / Nitrogen dioxide         | 0.16                                                                                            | 0.15               | 0.34                | 0.16           | 0.20           | 32.3                                                   |
| Твёрдые фториды / Solid fluorides        | 0.10                                                                                            | 0.07               | 0.13                | 0.07           | 0.13           | 28.4                                                   |
| Гидрофторид / Hydrofluoride              | 0.21                                                                                            | 0.14               | 0.29                | 0.14           | 0.21           | 27.4                                                   |
| Формальдегид / Formaldehyde              | 0.85                                                                                            | 0.50               | 1.60                | 0.80           | 1.00           | 30.0                                                   |
| Бенз(а)пирен / Benz(a)pyrene             | 4.65                                                                                            | 0.76               | 14.20               | 2.19           | 8.43           | 77.8                                                   |
| Бензол / Benzene                         | 0.06                                                                                            | 0.03               | 1.67                | 0.04           | 0.31           | 167.2                                                  |
| Фенол / Phenol                           | 0.28                                                                                            | 0.00               | 0.67                | 0.13           | 0.37           | 64.3                                                   |
| Диоксид серы / Sulfur dioxide            | 0.18                                                                                            | 0.02               | 0.46                | 0.11           | 0.35           | 69.3                                                   |

цереброваскулярные заболевания). Группа «ЗН» — злокачественные новообразования (C00–C97). Болезни органов дыхания (БД) (J00–J99).

Для статистической обработки использован программный комплекс Statistica v. 10, встроенные функции электронной таблицы Excel. При проверке изучаемых показателей методом Шапиро — Уилка установлено, что часть из них не имели нормального распределения. В связи с указанным в работе использовались как параметрические, так и непараметрические методы исследования. Методы описательной статистики включали медиану (Me) как показатель центра распределения значений, коэффициент вариации, нижний и верхний квартили (Q<sub>1</sub>–Q<sub>3</sub>) как показатели разброса её значений, минимальное и максимальное значения. Для оценки значимости различий КС в зависимости от уровня загрязнения и сезона года использовался *t*-критерий Стьюдента, критический уровень значимости  $p < 0,017$ . Корреляционный анализ проведён методом Спирмана ( $r_s$ ). Динамика среднемесячных концентраций и коэффициентов смертности оценены по индексу сезонности (ИС) [14].

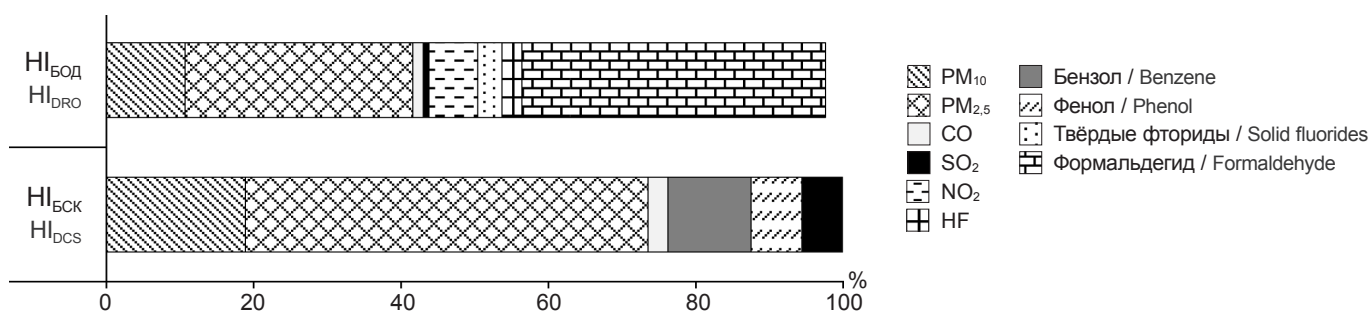
## Результаты

Наиболее высокие уровни загрязнения характерны для бенз(а)пирена и PM<sub>2,5</sub>, формальдегида (табл. 1). У бенз(а)пирена медиана и квартили среднемесячных концентраций превышали соответствующие ПДКс.с. — 4,65 (2,19–8,43). Максимальные кратности ПДКс.с. достигали: PM<sub>2,5</sub> — 3,37, PM<sub>10</sub> — 2,07, формальдегида — 1,6, бензола — 1,67. Величи-

ны концентраций на уровне Q<sub>3</sub> были выше ПДКсс только по PM<sub>2,5</sub>.

Коэффициенты вариации свидетельствуют о стабильном поступлении в атмосферный воздух Братска гидрофторида, твёрдых фторидов, формальдегида и диоксида серы. Значительный разброс характерен для бензола, взвешенных веществ, бенз(а)пирена. За изучаемый период в Братске также зарегистрировано значимое снижение среднегодовых концентраций по большинству веществ: гидрофториду — на 50%, оксиду углерода — на 60%, диоксиду азота — на 72%, однако содержание взвешенных веществ увеличилось на 14%. Отмечены особенности сезонной динамики аэропеллютантов: максимальные колебания ИС характерны для бенз(а)пирена (22% — в тёплый сезон, 214% — в холодный), сезонность формальдегида имеет обратную направленность (219 и 65% соответственно). Размах ИС прочих веществ относительно невелик (60–140%) и коррелирует между собой, что может отражать единство основных источников выбросов.

С гигиенических позиций содержание примесей в приземном слое атмосферного воздуха населённых мест важно оценить по возможности вызвать негативные реакции организма. Наиболее высокие значения индекса опасности, связанной с ингаляционной экспозицией, наблюдались в Братске для органов дыхания (HI<sub>БД</sub> = 7,8), сердечно-сосудистой системы (HI<sub>ССС</sub> = 4,7). Долевые вклады отдельных загрязнителей в величины HI представлены на рисунке. Максимальный долевой вклад в HI<sub>ССС</sub> вносят твёрдые частицы: PM<sub>2,5</sub> — 54,7%, PM<sub>10</sub> — 18,9%. Значимым можно считать воз-



Долевой вклад загрязнителей в величину ингаляционных индексов опасности для системы кровообращения (HI<sub>ССС</sub>) и органов дыхания (HI<sub>БД</sub>).

Share contribution of pollutants to the value of inhalation hazard indices for the circulatory system (HI<sub>ССС</sub>) and respiratory organs (HI<sub>БД</sub>).



Таблица 2 / Table 2

Характеристика среднемесячной смертности населения г. Братска за 2017–2022 гг.  
Characteristics of the average monthly mortality rate of the population of Bratsk for 2017–2022

| Причины смертности<br>Causes of mortality                 | Возрастные группы, лет<br>Age groups, years | Коэффициенты смертности, на 100 000 человек<br>Mortality rate, per 100,000 people |                    |                     |                |                | Коэффициент вариации, %<br>Coefficient of variation, % |
|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------------|----------------|----------------|--------------------------------------------------------|
|                                                           |                                             | Me                                                                                | минимум<br>minimum | максимум<br>maximum | Q <sub>1</sub> | Q <sub>3</sub> |                                                        |
| Болезни системы кровообращения<br>Cardiovascular diseases | 20–39                                       | 602.8                                                                             | 117.0              | 733.7               | 458.6          | 650.7          | 31.2                                                   |
|                                                           | 40–64                                       | 608.8                                                                             | 390.2              | 764.9               | 508.1          | 685.6          | 19.5                                                   |
|                                                           | 65+                                         | 4159.2                                                                            | 3358.0             | 6358.7              | 3830.4         | 4991.9         | 19.4                                                   |
| Болезни органов дыхания<br>Respiratory diseases           | 40–64                                       | 78.1                                                                              | 15.6               | 129.0               | 40.7           | 95.2           | 52.4                                                   |
|                                                           | 65+                                         | 246.0                                                                             | 103.8              | 553.1               | 218.5          | 410.8          | 48.1                                                   |
| Злокачественные новообразования<br>Malignant neoplasms    | 40–65                                       | 250.0                                                                             | 124.9              | 322.6               | 226.3          | 277.6          | 21.8                                                   |
|                                                           | 65+                                         | 962.4                                                                             | 750.2              | 1451.9              | 878.6          | 1088.9         | 20.9                                                   |

действие бензола (вклад 11,3%), фенола (6,9%). В структуре НБД наибольший долевого вклада вносят формальдегид (41,2%), РМ<sub>2,5</sub> (30,9%), РМ<sub>10</sub> (10,7%) и NO<sub>2</sub> (6,6%).

Выявлены статистически значимые корреляционные связи по разовым концентрациям между количеством взвешенных веществ и оксидом углерода ( $r_s = 0,62$ ), диоксидом азота ( $r_s = 0,59$ ), гидрофторидом ( $r_s = 0,51$ ), формальдегидом ( $r_s = 0,52$ ), бенз(а)пиреном ( $r_s = 0,49$ ); РМ<sub>2,5</sub> и РМ<sub>10</sub> ( $r_s = 0,97$ ), оксидом углерода ( $r_s = 0,63$ ), диоксидом азота ( $r_s = 0,48$ ), формальдегидом ( $r_s = 0,54$ ). Концентрации фенола и бензола имели прямую корреляционную связь между собой ( $r_s = 0,5$ ).

Характеристика среднемесячной смертности взрослого населения г. Братска по основным причинам смерти представлена в табл. 2. Первый ранг среди причин смертности населения Братска имели БСК, КС составил в возрастной группе 20–39 лет 602,8 (458,6–650,7) случаев на 100 000 человек, в 40–64 года – 608,8 (508,1–658,6), статистически значимых различий не выявлено ( $p > 0,05$ ). В возрастной группе старше 65 лет рост КС составил 6,9 раза, различия с КС в более молодых группах статистически значимы ( $p = 0,000$ ).

Второй ранг имели злокачественные новообразования, КС составил в 40–64 года 250 (226,3–277,6) случаев на 100 000 человек, в возрасте 65+ лет показатель достоверно увеличился – 962,4 (878,6–1088,9) ( $p = 0,000$ ). Среди рассматриваемых причин смерти болезни органов дыхания занимали третье место, показатель в группе 40–64 года составил 78,1 (40,7–95,2), а в возрасте 65+ он увеличился в 3,1 раза ( $p = 0,000$ ).

ИС смертности имел значительные колебания в течение года и различался по возрастным группам и классам болезней. Кроме того, отмечены изменения сезонности в период пандемии COVID-19. Так, в 2017–2019 гг. ИС коэффициента смертности от БСК находился на максимальных уровнях в возрастных группах 20–39 лет и 40–64 года в холодный сезон (140–160%), минимальные уровни зарегистрированы в переходный и тёплый сезоны (35–77%); в старшей возрастной группе максимум наблюдался в переходный (120–140%), минимум – в тёплый сезон (79–83%). Смертность по причине БОД во всех группах преобладала в зимний сезон (ИС = 110–201%), самые низкие уровни ИС зарегистрированы летом и в переходный сезон. КС от ЗН имел несколько максимумов (летом ИС достигал 143%, зимой – 130%), в переходный сезон ИС = 74–88%. В период пандемии ИС смертности имел значимые колебания лишь в старшей возрастной группе: по причине БСК наиболее высокие значения ИС отмечены зимой (140–161%), минимальные – летом (64–77%), от ЗН в переходный сезон (120–141%) и в зимний (67–82%) сезоны соответственно. Особый интерес представляет анализ сезонности КС, связанного с БОД. Максимальные уровни отмечались в 2020 г. в группе 40–64 года с августа по ноябрь (120–141%), в группе 65+ – в ок-

тябре–ноябре (231–309%); в 2021 г. критический период наблюдался с июня по ноябрь в группе 40–64 года (113–193%), в 65+ – с июня по декабрь (123–178%), в 2022 г. сезонность отмечена только в старшей группе (в январе – марте ИС = 120–142%).

Следует также отметить, что КС ассоциированы с концентрациями аэрополлютантов преимущественно в старшей группе. Так, в оба изучаемых периода выявлена прямая статистически значимая корреляционная связь между КС БСК и содержанием СО ( $r_s = 0,3–0,4$ ), твёрдыми фторидами ( $r_s = 0,5–0,7$ ); а в 2020–2022 гг., кроме того, со взвешенными веществами ( $r_s = 0,5$ ) и NO<sub>2</sub> ( $r_s = 0,76$ ). Также в оба периода отмечена связь КС ЗН и СО ( $r_s = 0,4–0,63$ ), твёрдыми фторидами ( $r_s = 0,5–0,52$ ), в период 2020–2022 гг. дополнительно – со взвешенными веществами ( $r_s = 0,49$ ). КС БОД коррелировал с концентрациями твёрдых фторидов ( $r_s = 0,51$ ) и NO<sub>2</sub> ( $r_s = 0,34$ ) в 2017–2019 гг.

В зависимости от уровней загрязнения атмосферного воздуха и климатических факторов выделены три периода для сравнения уровней КС: холодный (ноябрь – март) с преимущественным вкладом в суммарное загрязнение бенз(а)пирена, формальдегида, диоксида азота, РМ<sub>10</sub>; тёплый (июнь – август) с преобладанием РМ<sub>2,5</sub>, формальдегида, бензола и переходный (апрель, май, сентябрь, октябрь). КС имели статистически значимые различия при сравнении по периодам только в группе лиц старше 65 лет. Так, в холодный период чаще, чем в тёплый и переходный сезоны, регистрировались смерти по причине БОД ( $177,3 \pm 1,9$  против  $98 \pm 2,4$ ,  $p = 0,000$ , и  $100,3 \pm 2,4$ ,  $p = 0,001$ ); по причине БСК по сравнению с переходным периодом ( $2770,1 \pm 37,4$  и  $3007,9 \pm 32,3$ ,  $p = 0,024$ ), по причине ЗН по сравнению с летним сезоном ( $892,3 \pm 6,8$  и  $755,3 \pm 6,4$ ,  $p = 0,015$ ) и ниже, чем в переходный сезон ( $892,3 \pm 6,8$  и  $995,5 \pm 6,9$ ,  $p = 0,000$ ).

## Обсуждение

Сверхнормативное загрязнение (более 1 ПДК) атмосферного воздуха контролируемых городов Российской Федерации отмечается в зимний сезон в 41,5% случаев (в 59 городах из 142), в весенний сезон – 20%, в летний – 9% и осенний – 27,5%. Средние концентрации бенз(а)пирена для всех сезонов года в городах Сибирского федерального округа на порядок выше, чем в городах европейской части России [15]. Загрязнение окружающей среды является одним из основных факторов риска развития неинфекционных заболеваний [1, 16]. В крупных отечественных и международных исследованиях показано, что загрязнение атмосферного воздуха в наибольшей степени влияет на смертность от ишемической болезни сердца и инсульта [17–19].

Уровни загрязнения в Братске имели выраженную сезонность – максимум приходился на холодный сезон



(ноябрь — март), что объясняется как большей интенсивностью работы предприятий теплоэнергетики, так и спецификой метеопараметров и орографических условий. Данные явления характерны и для других городов Сибири [20]. Выявленные в наших исследованиях достаточно тесные корреляционные связи между содержанием отдельных примесей в приземном слое атмосферы позволяют считать обоснованной возможность одновременного присутствия поллютантов в воздухе и воздействия на организм.

Для промышленных центров характерно многокомпонентное загрязнение, что определяет вероятность системных токсических рисков для населения. В наших исследованиях рассмотрены риски для двух наиболее чувствительных систем: кардиоваскулярной и респираторной. Установлено, что уровни содержания, особенно твердых частиц, имеют значительную сезонность. Зарегистрированные максимумы  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$  в летние месяцы 2020–2021 гг. обусловлены загрязнением воздушной среды в результате длительных массовых ландшафтных пожаров северных территорий Иркутской области, Республики Саха (Якутия) [21, 22]. В величину индекса опасности для системы кровообращения больше половины долевого вклад вносили  $PM_{2.5}$ , поступающие как из промышленных источников, так и в результате переноса дыма лесных пожаров и активизации транспортных потоков на автотрассах, не покрытых снегом. НИ для респираторной системы формировался преимущественно за счёт концентраций не только  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ , но и формальдегида, диоксида азота, характеризующихся стабильными годовыми трендами.

Результатирующим индикатором эффекта негативного воздействия комплекса факторов может служить смертность населения. Детальный анализ внутригодовой динамики смертности и факторов, влияющих на неё с использованием методов расчёта индекса сезонности, наблюдается в исследованиях российских и зарубежных авторов [23–25]. В настоящее время доказано, что при высоких уровнях загрязнения воздуха населённых мест увеличивается число летальных исходов, особенно у лиц с хроническими заболеваниями, в старших возрастных группах [12, 24]. Салтыковой М.М. с соавт. выявлено, что в городах с очень высоким загрязнением воздуха достоверно выше смертность женщин всех возрастов от БСК и от ЗН в младшей возрастной группе, чем у жителей городов с умеренным уровнем загрязнения атмосферы [26]. В нашей работе показано, что смертность населения промышленного центра, на территории которого размещены несколько предприятий теплоэнергетики, работающие на угле, производство алюминия, лесопромышленный комплекс, ассоциирована с суммарным уровнем загрязнения атмосферного воздуха веществами, обладающими односторонним действием. Корреляционные связи КС и

разовых концентраций аэрополлютантов позволяют считать ассоциированными случаи смерти от БСК с воздействием высокого содержания в воздухе  $CO$  (9–16%),  $NO_2$  (до 60%), смерти по причине БОД с  $NO_2$  (9%). Считаем особенно важным, что с содержанием специфических для производства алюминия фторсодержащих веществ связано до 50% вариаций КС. В период 2020–2022 гг. отмечены корреляции с концентрациями  $PM$ , что определяло до 25% вариаций смерти по причине БСК.

Полученные данные в целом не противоречат существующим представлениям о влиянии аэрополлютантов на здоровье человека, однако имеют некоторые неопределённости.

**Ограничения исследования** связаны с неполными данными мониторинга аэрополлютантов на территории города, невозможностью учесть вклад экспозиции, связанной с производственной деятельностью и внутригородскими миграциями, неизбежными погрешностями при условном делении на сезоны года. Кроме того, оценка загрязнения атмосферного воздуха и возможность негативного влияния на здоровье человека вносят свои требования к проведению исследования: необходимость при расчёте НИ использовать только определённые периоды осреднения мониторируемых веществ, для которых имеются соответствующие референтные концентрации кратковременного (острого) и длительного (хронического) воздействия; применение для контроля содержания примесей в воздухе методов, пределы обнаружения которых ниже референтных величин. Смертность населения является результирующим эффектом воздействия комплекса эндогенных и экзогенных факторов, поэтому выявление отдельных связей возможно лишь на популяционном уровне и носит вероятностный характер. Кроме того, в изучаемый период времени дополнительную неопределённость вносили проблемы точного определения причины смерти в период пандемии.

## Заключение

Важными составляющими формирования загрязнения атмосферного воздуха г. Братска являются климатические и орографические особенности территорий, что требует более строгого подхода при обосновании размещения промышленно-энергетических предприятий. Анализ многолетних данных о загрязнении атмосферного воздуха позволил выявить особенности формирования потенциальных рисков для респираторной и кардиоваскулярной систем в различные сезоны года. Использование среднемесячных данных о концентрациях аэрополлютантов и величинах КС как отражения суммарного негативного эффекта позволяет подтвердить ассоциированность сезонности загрязнения воздушной среды и смертности населения городов с высокими уровнями индексов опасности.

## Литература

(п.п. 8–13, 19, 20, 22, 23, 25, 26 см. References)

- Ревич Б.А. Эффективен ли проект «Чистый воздух» для улучшения здоровья населения 12 городов? *Экологический вестник России*. 2020; (3): 58–68. <https://elibrary.ru/owuyog>
- Зайцева Н.В., Май И.В. Качество атмосферного воздуха и показатели риска здоровью как объективные критерии результативности воздухоохранной деятельности на территориях городов — участников федерального проекта «Чистый воздух». *Анализ риска здоровью*. 2023; (1): 4–12. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.1.01> <https://elibrary.ru/omvwle>
- Безуглая Э.Ю., Берлянд М.Е., ред. *Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере. Справочное пособие*. Л.: Гидрометеоиздат; 1983.
- Безогов И.В., Ефимова Н.В., Кузьмина М.В., Мыльникова И.В. Ранжирование и оценка территорий Иркутской области по уровню комплексного антропогенного загрязнения. *Здоровье населения и среда обитания — ЗНСО*. 2017; (2): 38–40. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2017-287-2-38-40> <https://elibrary.ru/xxrfpl>
- Землянова М.А., Пережогин А.Н., Кольдибекова Ю.В. Тенденции состояния здоровья детского населения и их связь с основными факторами риска в условиях специфического загрязнения атмосферного воздуха предприятиями металлургического и деревообрабатывающего профиля. *Анализ риска здоровью*. 2020; (4): 46–53. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.4.05> <https://elibrary.ru/tftqth>
- Ефимова Н.В., Рукавишников В.С. Оценка загрязнения атмосферного воздуха г. Братска на основе анализа многолетних наблюдений. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(9): 998–1003. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-9-998-1003> <https://elibrary.ru/aaobbc>
- Май И.В., Загороднов С.Ю. Экологическое нормирование пылевых промышленных выбросов: проблемы и пути решения. *Экология и промышленность России*. 2021; 25(7): 42–7. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-7-42-47> <https://elibrary.ru/puzthp>
- Савилов Е.Д., Астафьев В.А., Жданова С.Н., Заруднев Е.А. *Эпидемиологический анализ: Методы статистической обработки материала*. Новосибирск: Наука-Центр; 2011.
- Герасимов А.Н. *Медицинская статистика*. М.: МИА; 2007: 261–71.
- Корунов А.О., Халиков И.С., Сурнин В.А. Сезонное изменение и территориальное распределение содержания бенз(а)пирена в атмосферном воздухе Российской Федерации. *Экологическая химия*. 2020; 29(5): 270–82. <https://elibrary.ru/gzpxwn>

17. Гурвич В.Б., Козловских Д.Н., Власов И.А., Чистякова И.В., Ярушин С.В., Корнилов А.С. и др. Методические подходы к оптимизации программ мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в рамках реализации федерального проекта «Чистый воздух» (на примере города Нижнего Тагила). *Здоровье населения и среда обитания – ЗНУСО*. 2020; (9): 38–47. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-330-9-38-47> <https://elibrary.ru/mgxfam>
18. Вековшинина С.А., Клейн С.В., Жданова-Заплевсвичко И.Г., Четвёркина К.В. Качество среды обитания и риск здоровью населения, проживающего под воздействием выбросов предприятий цветной металлургии и деревообрабатывающей промышленности. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(1): 16–20. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-1-16-20> <https://elibrary.ru/tizemb>
21. Зайцева Н.В., Май И.В. Основные итоги, перспективы применения и совершенствования оценки риска здоровью населения сибирских городов – участников проекта «чистый воздух» (Братск, Норильск, Красноярск, Чита). *Гигиена и санитария*. 2021; 100(5): 519–27. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-5-519-527> <https://elibrary.ru/ogijxt>
24. Григорьева Е.А., Глаголев В.А. Межсезонная динамика показателей смертности в городах на юге Дальнего Востока России. *Региональные проблемы*. 2021; 24(2–3): 11–8. <https://doi.org/10.31433/2618-9593-2021-24-2-3-11-18> <https://elibrary.ru/wpmyna>
27. Салтыкова М.М., Шопина О.В., Балакаева А.В., Бобровницкий И.П. Загрязнение атмосферного воздуха как фактор повышенной смертности населения. *Russian Journal of Rehabilitation Medicine*. 2020; (4): 4–16. <https://elibrary.ru/pxeevi>

## References

1. Revich B.A. How effective is “Clean air for health in 12 cities” project? *Ekologicheskiiy vestnik Rossii*. 2020; (3): 58–68. <https://elibrary.ru/owuyog> (in Russian)
2. Zaytseva N.V., May I.V. Ambient air quality and health risks as objective indicators to estimate effectiveness of air protection in cities included into the «Clean air» Federal project. *Analiz riska zdorov'yu*. 2023; (1): 4–12. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.1.01> <https://elibrary.ru/omwvle> (in Russian)
3. Bezuglaja E.Yu., Berlyand M.E., eds. *Climatic Characteristics of the Conditions for the Distribution of Impurities in the Atmosphere. Reference Manual [Klimaticheskie kharakteristiki usloviy rasprostraneniya primesey v atmosfere. Spravochnoe posobie]*. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1983. (in Russian)
4. Bezgodov I.V., Efimova N.V., Kuz'mina M.V., Myl'nikova I.V. Ranking and assessment of Irkutsk region by level of complex anthropogenic pollution. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO*. 2017; (2): 38–40. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2017-287-2-38-40> <https://elibrary.ru/xxrfpl> (in Russian)
5. Zemlyanova M.A., Perezhogin A.N., Kol'dibekova Yu.V. Trends detected in children's health and their relation with basic aerogenic risk factors under exposure to specific ambient air contamination caused by metallurgic and wood-processing enterprises. *Analiz riska zdorov'yu*. 2020; (4): 47–54. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2020.4.05> <https://elibrary.ru/dmzzzp>
6. Efimova N.V., Rukavishnikov V.S. Assessment of air pollution based on the analysis of long-term observations in the city of Bratsk. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(9): 998–1003. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-9-998-1003> <https://elibrary.ru/aaioibc> (in Russian)
7. May I.V., Zagorodnov S.Yu. Ecological forecasting of industrial dust emissions: problems and solutions. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2021; 25(7): 42–7. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-7-42-47> <https://elibrary.ru/puzthp> (in Russian)
8. Health Effects Institute. *State of Global Air – 2020. Special Report*. Boston, MA; 2020. Available at: <https://www.stateofglobalair.org/sites/default/files/documents/2020-10/soga-2020-report.pdf>
9. Veremchuk L.V., Tsarouhas K., Vitkina T.I., Mineeva E.E., Gvozdenko T.A., Antonyuk M.V., et al. Impact evaluation of environmental factors on respiratory function of asthma patients living in urban territory. *Environ. Pollut.* 2018; 235: 489–96. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.122>
10. Johnston F.H., Salimi F., Williamson G.J., Hender-son S.B., Yao J., Dennekamp M., et al. Ambient particulate matter and paramedic assessments of acute diabetic, cardiovascular, and respiratory conditions. *Epidemiology*. 2019; 30(1): 11–9. <https://doi.org/10.1097/ede.0000000000000929>
11. Raz-Maman C., Carel R.S., Borochov-Greenberg N., Zack O., Portnov B.A. The exposure assessment period to air pollutants which affects lung function: analysis of recent studies and an explanatory model. *Air Quality, Atmosphere & Health*. 2021; 15(3): 393–402. <https://doi.org/10.1007/s11869-021-01128-1>
12. Lelieveld J., Pozzer A., Pöschl U., Fnais M., Haines A., Münzel T. Loss of life expectancy from air pollution compared to other risk factors: a worldwide perspective. *Cardiovasc. Res*. 2020; 116(11): 1910–7. <https://doi.org/10.1093/cvr/cvaa025>
13. Tan T., Hu M., Li M., Guo Q., Wu Y., Fang X., et al. New insight into PM<sub>2.5</sub> pollution patterns in Beijing based on one-year measurement of chemical compositions. *Sci. Total. Environ.* 2018; 621: 734–43. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.208>
14. Savilov E.D., Astaf'ev V.A., Zhdanova C.N., Zarudnev E.A. *Epidemiological Analysis: Methods of Statistical Processing of Material [Epidemiologicheskiiy analiz: Metody statisticheskoy obrabotki materiala]*. Novosibirsk: Nauka-Tsent; 2011. (in Russian)
15. Gerasimov A.N. *Medical statistics*. M.: MIA; 2007: 261–71.
16. Korunov A.O., Khalikov I.S., Surnin V.A. Seasonal variation and territorial distribution of the content of benzo(a)pyrene in the atmospheric air of the Russian Federation. *Ekologicheskaya khimiya*. 2020; 29(5): 270–82. <https://elibrary.ru/gzpwxn> (in Russian)
17. Gurvich V.B., Kozlovskikh D.N., Vlasov I.A., Chistyakova I.V., Yarushev S.V., Kornilov A.S. et al. Methodological approaches to optimizing ambient air quality monitoring programs within the framework of the Federal Clean Air Project (on the example of Nizhny Tagil). *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya – ZNiSO* (Public Health and Life Environment – PH&LE). 2020; 9: 38–47. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-330-9-38-47> (in Russian)
18. Vekovshina S.A., Kleyn S.V., Zhdanova-Zaplevsichko I.G., Chetverkina K.V. The quality of environment and risk to health of the population residing under the exposure to emissions from colored metallurgy enterprises and wood processing industry. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2018; 97(1): 16–20. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-1-16-20> <https://elibrary.ru/tizemb> (in Russian)
19. Romanello M., McGushin A., Di Napoli C., Drummond P., Hughes N., Jamart L., et al. The 2021 report of the Lancet Countdown on health and climate change: code red for a healthy future. *Lancet*. 2021; 398(10311): 1619–62. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(21\)01787-6](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(21)01787-6)
20. Sarovar V., Malig B.J., Basu R. A case-crossover study of short-term air pollution exposure and the risk of stillbirth in California, 1999–2009. *Environ. Res*. 2020; 191: 110103. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110103>
21. Zaytseva N.V., May I.V. Main results, prospects of application and improvement of the health risk assessment of the population of Siberian cities-participants of the «Clean air» project (Bratsk, Norilsk, Krasnoyarsk, Chita). *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(5): 519–27. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-5-519-527> <https://elibrary.ru/ogijxt> (in Russian)
22. Efimova N.V., Rukavishnikov V.S. Assessment of smoke pollution caused by wildfires in the Baikal Region (Russia). *Atmosphere*. 2021; 12(12): 1542. <https://doi.org/10.3390/atmos12121542>
23. Romanov A.A., Tamarovskaya A.N., Gusev B.A., Leonenko E.V., Vasiliev A.S., Krikunov E.E. Catastrophic PM<sub>2.5</sub> emissions from Siberian forest fires: Impacting factors analysis. *Environ. Pollut.* 2022; 306: 119324. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119324>
24. Grigor'eva E.A., Glagolev V.A. Intra-annual dynamics of mortality rates in cities of the southern part of the Russian Far East. *Regional'nye problemy*. 2021; 24(2–3): 11–8. <https://doi.org/10.31433/2618-9593-2021-24-2-3-11-18> <https://elibrary.ru/wpmyna> (in Russian)
25. Lepeule J., Litonjua A.A., Gasparrini A., Koutrakis P., Sparrow D., Vokonas P.S., et al. Lung function association with outdoor temperature and relative humidity and its interaction with air pollution in the elderly. *Environ. Res*. 2018; 165: 110–7. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.03.039>
26. Sun S., Laden F., Hart J.E., Qiu H., Wang Y., Wong C.M., et al. Seasonal temperature variability and emergency hospital admissions for respiratory diseases: a population-based cohort study. *Thorax*. 2018; 73(10): 951–8. <https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2017-211333>
27. Saltykova M.M., Shopina O.V., Balakaeva A.V., Bobrovniiskiy I.P. Air pollution as a reason of increased mortality of the population. *Russian Journal of Rehabilitation Medicine*. 2020; (4): 4–16. <https://elibrary.ru/pxeevi> (in Russian)