

Ефимова Н.В.¹, Бобкова Е.В.^{1,2}, Зароднюк Т.С.³, Горнов А.Ю.³

Возрастная динамика смертности населения от болезней системы кровообращения в период пандемии при снижении загрязнения атмосферного воздуха

¹ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665827, Ангарск, Россия;²ОГКУЗ «Медицинский информационно-аналитический центр Иркутской области», 664003, Иркутск, Россия;³ФГБУН «Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова» Сибирского отделения Российской академии наук, 664033, Иркутск, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Результаты крупномасштабных исследований смертности от болезней системы кровообращения (БСК) во время пандемии требуют дальнейшего анализа данных, поиска модифицирующих факторов.

Цель исследования — выявить особенности динамики смертности от БСК населения промышленного центра в период пандемии при изменении загрязнения атмосферного воздуха.

Материалы и методы. В качестве модельного города для изучения вклада загрязнений атмосферного воздуха был выбран Братск, входящий в федеральный проект «Чистый воздух». Изучены по возрастные показатели смертности в фоновый период (2017 г.) и период пандемии (2021 г.). Использованы экспоненциальные модели, качество аппроксимации оценивали по коэффициенту детерминации, ошибке аппроксимации и среднему коэффициенту эластичности. Вклад загрязнения атмосферного воздуха в смертность населения рассчитан в соответствии с П 2.1.10.3968–23 «Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания».

Результаты. Среди городского населения возрастной прирост смертности по причине БСК в 2017 г. составлял 125%, а в 2021 г. — 172%. В условиях пандемии уровень избыточной смертности составил у лиц старше 80 лет 35,92%, 70–79 лет — 8,48%, 60–69 — 1,03%. Содержание взвешенных веществ в атмосферном воздухе в 2021 г. снизилось с высокого уровня до настораживающего, что привело к сокращению дополнительных случаев смерти, связанных с содержанием PM_{10} с 194 (ДИ 193,6–195,1) до 5 (ДИ 4,8–5,1) случаев.

Ограничения исследования связаны с диагностикой основных причин смерти и неполными эпидемиологическими знаниями о зависимости смертности по причине БСК от воздействия аэрополлютантов.

Заключение. Использование нелинейного регрессионного анализа позволило продемонстрировать изменения в тенденциях возрастной смертности в фоновый период и во время пандемии. Выявлено, что в период пандемии уровень избыточной смертности, ассоциированной с загрязнением PM_{10} атмосферного воздуха, сократился.

Ключевые слова: избыточная смертность; болезни системы кровообращения; пандемия; загрязнение атмосферного воздуха

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

Для цитирования: Ефимова Н.В., Бобкова Е.В., Зароднюк Т.С., Горнов А.Ю. Возрастная динамика смертности населения от болезней системы кровообращения в период пандемии при снижении загрязнения атмосферного воздуха. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(9): 925–931. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-9-925-931> <https://elibrary.ru/lgcdfm>

Для корреспонденции: Ефимова Наталья Васильевна, e-mail: medecolab@inbox.ru

Участие авторов: Ефимова Н.В. — концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование; Бобкова Е.В. — сбор материала и статистическая обработка данных, написание текста; Зароднюк Т.С. — статистическая обработка данных, математическое моделирование, написание текста; Горнов А.Ю. — концепция исследования, 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.

Поступила: 20.05.2024 / Принята к печати: 19.06.2024 / Опубликована: 16.10.2024

Natalya V. Efimova¹, Elena V. Bobkova^{1,2}, Tatyana S. Zarodnyuk³, Alexander Yu. Gornov³

Age trend in the mortality from diseases of the circulatory system during the pandemic under a decrease in air pollution

¹East Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation;²Medical Information and Analytical Center of the Irkutsk Region, Irkutsk, 664003, Russian Federation;³Institute of System Dynamics and Control Theory named after V.M. Matrosov, SB RAS, Irkutsk, 664033, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The results of large-scale studies of the mortality from diseases of the circulatory system (DCS) during the pandemic require further analysis of the data and the search for modifying factors.

The purpose is to identify the features of the trend in the mortality from DCS in the population of an industrial center during a pandemic under changes in air pollution.

Materials and methods. The research was carried out in the industrial center — Bratsk. Age-specific mortality rates were studied using exponential models in the background (2017) and pandemic (2021) periods. The contribution of atmospheric air pollution to the mortality rate was calculated in accordance with the “Guidelines for assessing the risk to public health from exposure to chemical substances that pollute the environment.”

Results. The age-related increase in the mortality rate from DCS over 2017 was 125%, and during 2021 — 172%. During the pandemic, the excess mortality rate was in cases older 80 years — 35.92%, 70–79 — 8.48%, 60–69 — 1.03%. PM_{10} levels in the air decreased from high to alarming levels in 2021, resulting in a reduction in excess PM_{10} -related deaths from 194 (CI: 193.6–195.1) to 5.0 (CI: 4.8–5.1) cases.

Limitations are associated with incomplete epidemiological knowledge about the dependence of mortality from DCS on exposure to air pollutants.

Conclusion. The use of nonlinear regression analysis made it possible to demonstrate changes in trends in age-specific mortality during the background period and during the pandemic. During the pandemic, the level of excess mortality was revealed to relate with PM_{10} air pollution decreased.

Keywords: excess mortality; cardiovascular diseases; pandemic; air pollution

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., Bobkova E.V., Zarodnyuk T.S., Gornov A.Yu. Age trend in population mortality from diseases of the circulatory system during a pandemic under a decrease in air pollution. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2024; 103(9): 925–931. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-9-925-931> <https://elibrary.ru/lgcdfm> (In Russ.)

For correspondence: Natalya V. Efimova, e-mail: medecolab@inbox.ru

Contributions: Efimova N.V. — the concept and design of the study, writing the text, editing; Bobkova E.V. — collection of material and data processing, writing the text; Zarodnyuk T.S. — data processing and math modelling, writing the text; Gornov A.Yu. — the concept of the study, 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 the absence of obvious and potential conflicts of interest in connection with the publication of this article.

Acknowledgement. The study was carried out within the framework of the state assignment of East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research.

Received: May 20, 2024 / Accepted: June 19, 2024 / Published: October 16, 2024

Введение

Болезни сердечно-сосудистой системы не только занимают ведущее место в структуре заболеваемости взрослого населения, но и являются основной причиной смертности во многих странах, в том числе в Российской Федерации (РФ) [1, 2]. В крупномасштабных исследованиях показана значительная дифференциация регионов по уровню и динамике смертности по причине болезней системы кровообращения (БСК) [2, 3]. На территории РФ наиболее высокие коэффициенты смертности (КС) выявляются в южных регионах Сибири и Дальнего Востока [4]. Для снижения уровня смертности по причине БСК необходим комплекс мер, направленных на все факторы риска смерти [5, 6]. В Сибирском федеральном округе в доковидный период уровень смертности от БСК увеличивался за счёт роста показателя в Алтайском и Красноярском краях, Иркутской, Томской и Кемеровской областях, смертность населения промышленных центров (Красноярск, Кемерово, Братск и др.) превышала средние региональные показатели смертности [7]. БСК относят к эндогенным и квази-эндогенным патологиям, обусловленным онтобиологическими процессами старения организма, что определяет экспоненциальное увеличение КС в субпопуляциях старше 60 лет [1, 8].

Вместе с тем динамика заболеваемости и смертности от БСК зависит от множества экзо- и эндогенных факторов [2, 6]. Загрязнение атмосферного воздуха является одним из основных глобальных рисков для здоровья и вызывает избыточную смертность, особенно в результате болезней системы кровообращения, конкурируя с избыточной смертностью, ассоциированной с табакокурением [2, 9]. Исследования, выполненные во многих странах, свидетельствуют о негативном влиянии взвешенных частиц на организм, приводящем к росту заболеваемости и смертности населения [10, 11]. Важно отметить, что воздействие на респираторную систему связывают преимущественно $PM_{2.5}$, а более крупные фракции PM_{10} ассоциируют с болезнями системы кровообращения [11, 12].

В последние 10 лет отмечается некоторое снижение смертности от БСК в отдельных субъектах Российской Федерации [5], однако в период пандемии новой коронавирусной инфекции COVID-19 (ПНКИ) регистрировалась избыточная смертность и от БСК [5, 7]. Это связывают с прямыми и косвенными причинами. Во-первых, при воздействии коронавируса из-за несоответствия между потребностью и доставкой кислорода миокарду, чрезмерной воспалительной реакции, эндотелиальной дисфункции могут возникать повреждение миокарда, нарушения ритма сердца, острая сердечная недостаточность, тромбозы и эмболии [13–15]. Во-вторых, пандемия COVID-19 косвенно оказала негативное влияние на качество медицинской помощи пациентам с хроническими недугами, в том числе БСК,

что могло привести к преждевременной смерти [16, 17]. В РФ в ПНКИ зарегистрирован резкий рост смертности от БСК [18, 19].

Результаты крупномасштабных исследований смертности от БСК во время пандемии требуют дальнейшего анализа данных, поиска модифицирующих факторов, что имеет решающее значение для профилактики болезней системы кровообращения и связанной с ними смертности населения [12, 16, 19]. Несмотря на большое количество работ, посвящённых смертности в период пандемии, избыточная смертность населения с учётом высокой техногенной нагрузки и возрастных аспектов изучена недостаточно.

Цель исследования — выявить особенности динамики смертности населения промышленного центра в период пандемии при изменении загрязнения атмосферного воздуха.

Материалы и методы

В качестве модельного города для изучения вклада загрязнений атмосферного воздуха был выбран Братск, входящий с 2019 г. в федеральный проект «Чистый воздух» национального проекта «Экология»¹. На территории города размещены крупные стационарные источники выбросов (предприятия лесохимической промышленности, теплоэнергетики, производства алюминия), поэтому Братск постоянно входит в список наиболее загрязнённых городов России.

Исследование включало два этапа. На первом изучены повозрастные показатели смертности в фоновый период и период ПНКИ. В качестве фонового на основе полученных ранее собственных результатов [20] и данных других исследователей [21, 22] выбран 2017 г. В связи с некоторым отставанием развития пандемии на территории Иркутской области в качестве ПНКИ рассмотрен 2021 г.

Абсолютные данные получены из статистических таблиц «Распределение умерших по полу, возрастным группам и причинам смерти» (С51) Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Иркутской области. В исследование включены случаи смерти по причинам IX класса «Болезни системы кровообращения» (I00–I99) Международной статистической классификации болезней X пересмотра. Число умерших в 2017 г. составило 1417, в 2021 г. — 2008. В связи с относительно небольшой численностью населения и малым количеством смертей по причине БСК, особенно у лиц младших и средних возрастных групп, для получения репрезентативных данных вариационный ряд возрастов был сгруппирован следующим образом: до одного года; 1–4 года, 5–9 лет, 10–19 лет ... 70–79 лет, 80 лет и старше. Для расчёта интенсивных показателей использовали среднегодовую постоянную численность населения Братска в 2017 г. (229 286 человек) и в 2021 г. (222 528 человек).

¹ <https://www.mnr.gov.ru/activity/clean-air/bratsk/>

Таблица 1 / Table 1

Смертность населения Братска от болезней системы кровообращения (2017, 2021 гг.)

Mortality of the population of Bratsk from diseases of the circulatory system (2017 and 2021)

Возрастные группы Age groups	2017 год / year			2021 год / year		
	Численность населения Population number	Число умерших Number of deceased persons	Коэффициент смертности, % Mortality coefficient, %	Численность населения Population number	Число умерших Number of deceased persons	Коэффициент смертности, % Mortality coefficient, %
0–1	2430	0	0	1941	0	0
1–4	11 279	0	0	8966	0	0
5–9	14 879	0	0	14 436	0	0
10–19	24 007	0	0	27 310	1	0.044
20–29	28 837	4	0.140	22 969	7	0.304
30–39	37 314	33	0.884	37 422	49	1.31
40–49	32 020	75	2.344	32 403	105	3.244
50–59	31 460	193	6.134	28 214	80	2.834
60–69	26 068	302	11.584	26 818	382	14.244
70–79	14 242	391	27.454	13 538	467	34.490
80 и старше Over 80 years	6750	418	61.924	8511	829	97.40

Задачей первого этапа исследований было выявление возрастных групп риска, для чего провели аппроксимацию фактических данных смертности от БСК с помощью модели экспоненциального типа (1):

$$y = \beta \cdot e^{\alpha x}, \quad (1)$$

где y – повозрастной коэффициент смертности; x – возраст; β – константа тренда, которая показывает тенденцию возрастания уровней при изменении x . Коэффициенты α , β находили методом наименьших квадратов – путём минимизации суммы квадратов отклонений расчётных данных от фактических. Программная реализация алгоритма выполнена на языке C в рамках программного комплекса OPTCON [23], ориентированного на численное исследование широкого класса задач оптимизации. При расчётах и графическом представлении результатов по оси абсцисс использовали среднее значение диапазона (например, для возрастной группы до одного года $x = 0,5$; для группы 1–4 года $x = 2$; 5–9 лет – $x = 7,5$; 10–19 лет – $x = 14$ и т. д.

Качество аппроксимации оценивали по коэффициенту детерминации (R^2), ошибке аппроксимации (A) и среднему коэффициенту эластичности (E), показывающему, на сколько процентов в среднем по совокупности изменится результат Y от своей средней величины при изменении фактора x на 1% от своего среднего значения. За среднюю величину x приняли 36,5 года. Графики строили с использованием пакета прикладных программ MS Excel.

На втором этапе проведён расчёт избыточной смертности от БСК, связанной с влиянием суммы факторов и с воздействием аэрополлютантов, тропных к системе кровообращения, в старшей возрастной группе (группе риска) в период пандемии. В настоящее время на территории Братска осуществляется мониторинг трёх ингредиентов, для которых доказано негативное действие на сердечно-сосудистую систему: PM_{10} , CO, гидроксibenзол. Расчёты проведены согласно Руководству Р 2.1.10.3968–23² исходя из представления о бинарности явления смертности по уравнению логистической регрессии. Уровень риска для здоровья считали настораживающим, если коэффициент опасности (НҚ), рассчитанный как кратность среднегодового содержания аэрополлютантов к величине референтной концентрации, находился в пределах 1,1–2,9; как высокий – при $HQ \geq 3$.

² Р 2.1.10.3968–23 «Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания».

Расчёт вероятности дополнительных случаев смерти, связанных с экспозицией, проведён по формуле (2) вида:

$$\Delta p_i = \frac{1}{1 + e^{-\alpha_i + \beta \cdot C_i}} - \frac{1}{1 + e^{-\alpha_i + \beta \cdot R/C_i}}, \quad (2)$$

где α , β – коэффициенты, C_i – среднегодовое содержание i -го вещества в атмосферном воздухе, R/C_i – референтная концентрация для хронического ингаляционного действия i -го вещества. Величины α , β определены по регрессионным уравнениям, описывающим зависимость коэффициентов смертности от расчётных концентраций PM_{10} в 2000–2019 гг. Мониторинг PM_{10} в Братске до 2020 г. не проводился, поэтому среднегодовое содержание PM_{10} принимали как 55% от концентрации взвешенных веществ (согласно Р 2.1.10.3968–23).

Дополнительное число умерших определено с учётом численности населения возрастной группы риска по формуле (3):

$$P_i = \Delta p_i \cdot Pop, \quad (3)$$

где Pop – численность экспонированного населения в возрасте старше 60 лет.

Статистическую обработку данных проводили с использованием стандартных программных продуктов Microsoft Excel 2011.

Результаты

Проведён анализ динамики фактических и расчётных повозрастных коэффициентов смертности населения Братска (табл. 1).

В результате численного решения задачи параметрической идентификации (поиска параметров модели α , β) найдены следующие значения: для модели 2017 г. $\alpha_i = 0,0675$, $\beta_i = 0,0815$, для модели 2021 г. $\alpha_i = 0,215$, $\beta_i = 0,1002$ (табл. 2).

Экспоненциальные уравнения, описывающие повозрастную динамику коэффициентов смертности, имеют очень хорошие характеристики аппроксимации. Коэффициенты эластичности свидетельствуют о значительном влиянии возраста (независимая переменная x) на зависимую переменную Y (коэффициент смертности по причине БСК).

На рисунке представлены зависимости КС от возраста – фактические и построенные с помощью полученных моделей для 2017 и 2021 гг.

Вычислительные эксперименты показали, что избыточная смертность в ПНКИ зарегистрирована в возрастных группах старше 60 лет (табл. 3).

Таблица 2 / Table 2

Параметры экспоненциальных уравнений повозрастной динамики коэффициентов смертности в 2017, 2021 гг.
Parameters of exponential equations for age-specific trend in mortality rates over 2017 and 2021

Характеристики Characteristics	2017 год / year	2021 год / year
Коэффициент α_i α_i coefficient	0.0675	0.0215
Коэффициент β_i β_i coefficient	0.0815	0.1002
Коэффициент детерминации R^2 Determination coefficient R^2	0.999	0.990
Ошибка аппроксимации A, % Approximation error A, %	−2.9	−1.05
Коэффициент эластичности E, % Elasticity coefficient E, %	−91.6	−84.1

Максимальный уровень избыточной смертности от БСК в ПНКИ характерен для возрастной группы старше 80 лет (35,92 случая на 1000 человек данного возраста), в возрасте 70–79 лет – 8,48‰, в группе 60–69 – 1,03‰. С учётом численности указанных возрастных групп в Братске число дополнительных случаев составило соответственно 305,7 (ДИ 305,3–306,1); 114,8 (ДИ 114,6–115); 27,7 (ДИ 27,6–27,8) случая. Таким образом, суммарное число дополнительных случаев смерти от БСК оценивается как 448,2 (ДИ 448–448,4) случая, что составляет 40,3% смертельных исходов по изучаемой причине в фоновый период.

Согласно расчётам, в 2017 г. содержание в атмосферном воздухе PM_{10} составляло 0,13 мг/м³ и превышало референтную величину ($RfC = 0,04$ мг/м³). Среднегодовая концентрация СО зарегистрирована на уровне 0,65 мг/м³ ($RfC = 3$ мг/м³). Контроль за содержанием в приземных слоях атмосферы гидроксибензола не проводился. С учётом этих обстоятельств вероятность избыточной смертности, рассчитанной по ф. (2) только для PM_{10} , составила 0,003977. При этом число дополнительных случаев смертности от БСК, ассоциированных с воздействием PM_{10} , в возрастной группе старше 60 лет оценивается как 194,4 (ДИ 193,6–195,1), что составляет 17,4% от всех случаев смерти по причине БСК.

В 2021 г. среднегодовое содержание в атмосферном воздухе веществ, негативно воздействующих на сердечно-

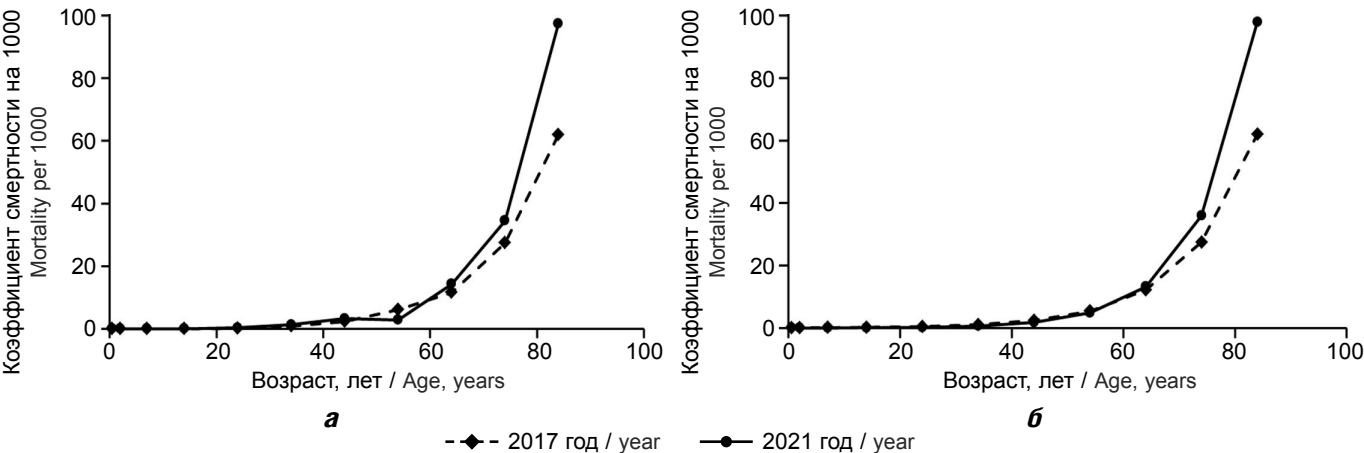
Таблица 3 / Table 3

Расчётные повозрастные коэффициенты смертности от болезней системы кровообращения в 2017 и 2021 гг. (на 1000 человек)

Calculated age-specific mortality rates from diseases of the circulatory system over 2017 and 2021 (per 1000 people)

№ возрастной группы Age group No	Среднее значение возраста (x) по группе Group average age (x)	Периоды, год Periods, year		Избыточная смертность Excess mortality
		2017 (фоновый) (background)	2021 (пандемия) (pandemic)	
1	0.5	0.068	0.023	−0.046
2	2	0.077	0.026	−0.051
3	7	0.116	0.043	−0.073
4	14	0.206	0.087	−0.119
5	24	0.466	0.238	−0.227
6	34	1.053	0.650	−0.402
7	44	2.378	1.772	−0.606
8	54	5.3718	4.830	−0.541
9	64	12.134	13.167	1.033
10	74	27.412	35.893	8.481
11	84	61.924	97.843	35.920

сосудистую систему, было значительно ниже, чем в доковидный период. По данным автоматизированного мониторинга, среднегодовые концентрации составляли для PM_{10} 0,045 мг/м³, для СО 0,33 мг/м³, для гидроксибензола – 0,008 мг/м³. Вероятность избыточной смертности, обусловленной экспозицией PM_{10} и гидроксибензола, составила 0,000273 и 0,000101 соответственно. Следовательно, число дополнительных случаев смертности от БСК в возрастной группе старше 60 лет оценивается как 18,4 (ДИ 18–18,7), из них 13,4 (ДИ 13,2–13,6) связаны с воздействием PM_{10} , а 5 (ДИ 4,8–5,1) ассоциированы с гидроксибензолом. Таким образом, 0,37 случая смерти на 1000 человек (1,6% от всех случаев смерти) по причине БСК в 2021 г. ассоциировано с загрязнением атмосферного воздуха.



Обсуждение

В период COVID-19 изменилась структура общей смертности населения, в частности доля случаев смерти от БСК в Сибирском федеральном округе в 2019 г. составляла 46,6%, а в 2021-м — 41,6% на фоне роста КС на 23,7% [7]. Как показали исследования Донцова В.И., охватывающие период до 2014 г., снижение показателей смертности может быть следствием изменения возрастного состава населения [24]. Начавшийся в доковидное время процесс глобального старения населения за счёт совершенствования лечебно-диагностических технологий также следует рассматривать как одну из причин роста смертности лиц старшего возраста [25–27].

Анализ по возрастной смертности в 2021 г. по сравнению с её средним сложившимся уровнем в СФО показал, что в группе лиц трудоспособного возраста до 40 лет общая смертность была ниже, чем в среднем за период с 2011 по 2019 г., а в более старших группах (до 64 лет включительно) — выше [28]. Нашим исследованием установлено на примере отдельного промышленного центра, что и в фоновый, и в пандемийный годы среди населения Братска преобладали смерти от БСК (52,4–61,8% смертности от всех причин). Группами риска смертности от БСК всегда являются лица старших возрастов. Статистически значимое увеличение показателей отмечено начиная с возраста 30–39 лет (прирост 5,3% в 2017 г. и 3,4% — в 2021 г.). Анализ фактических данных выявил снижение КС в период ПНКИ в группе 50–59 лет по сравнению с показателем в доковидный период (2,83 против 6,13, $p = 0,066$). Показано, что возрастной прирост КС от БСК в 2017 г. у взрослого населения составлял 125%, а в 2021 г. — 172%. В возрастных категориях 60 лет и старше избыточная смертность в сравнении с фоновой оценивается в 45,4 (ДИ 44,6–46,2) случая на 1000 человек. Избыточная смертность от БСК в ПНКИ подтверждается результатами других исследователей, показавших, что основной причиной смертности были сердечно-сосудистые катастрофы [5, 13, 14]. Следовательно, ПНКИ можно рассматривать как масштабный стрессор биологической природы, повлёкший рост смертности от БСК [27, 29].

Для устранения погрешностей, возможных при рассмотрении КС на относительно небольших массивах наблюдений, проведено моделирование возрастной динамики с помощью экспоненциальных уравнений. Отметим, что ошибка аппроксимации разработанных зависимостей по данным 2017 г. выше, чем в 2021 г., в 2,8 раза, что позволяет предположить воздействие иных, не связанных с возрастом, факторов и определяет необходимость проведения дальнейших исследований. Полученные нами экспоненциальные уравнения, отражающие по возрасту динамику смертности, имеют очень хорошие характеристики аппроксимации, что даёт возможность использовать их на втором этапе исследований для оценки избыточной смертности, обусловленной воздействием аэрополлютантов.

Поскольку период пандемии совпал с реализацией в Братске программы «Чистый воздух», произошло значительное снижение загрязнения атмосферного воздуха взвешенными веществами, коэффициент опасности развития нарушений сердечно-сосудистой системы уменьшился с высокого ($HQ = 3,25$) до настораживающего ($HQ = 1.1$). На основе доказанных зависимостей нарушений сердечно-сосудистой системы и загрязнения PM_{10} [10] установлено, что вероятность дополнительной смертности в 2021 г. сократилась в 1,46 раза. При уровнях загрязнения, характерных для 2017 г. (превышение референтного уровня в шесть раз), число дополнительных случаев смерти определяло 17,4% от всех случаев смерти от БСК в старшей возрастной группе населения Братска. Если концентрации PM_{10} близки к референтным величинам (2021 г.), то удельный вес дополнительных случаев составил 1,6%. Это ниже, чем установлено в некоторых исследованиях, проведённых в доковидный период [10, 12, 30]. Одной из причин снижения доли дополнительных случаев, обусловленных ингаляционным воздействием PM_{10} , является значительное увеличение числа случаев смерти от БСК в период пандемии.

Наше исследование имело некоторые ограничения. Во-первых, в работе не рассматривалась смертность от причин, не связанных с болезнями системы кровообращения, и класс БСК не дифференцирован по конкретным нозологическим формам. Во-вторых, некоторую неопределённость в наше исследование вносят проблемы диагностики основных причин смерти, общие для многих работ, выполненных на основе статистических материалов [2, 19, 26]. Ограничением являются и неполные современные эпидемиологические знания о зависимости смертности по причинам БСК от воздействия аэрополлютантов. Преимущество нашего исследования заключается в том, что мы использовали нелинейный регрессионный анализ, чтобы продемонстрировать изменения в тенденциях по возрастной смертности в фоновый период и во время пандемии. Кроме того, мы выделили в уровне избыточной смертности число случаев, ассоциированных с загрязнением атмосферного воздуха PM_{10} .

Заключение

Среди городского населения в условиях пандемии наблюдался рост смертности по причине болезней системы кровообращения, особенно выраженный в возрастных группах старше 60 лет: уровень избыточной смертности лиц старше 80 лет составил 35,92%, в возрасте 70–79 лет — 8,48%, в возрасте 60–69 лет — 1,03%.

При снижении концентраций взвешенных веществ в атмосферном воздухе в 2021 г. с высокого уровня до настораживающего число дополнительных случаев смерти, связанных с содержанием PM_{10} , сократилось с 194 (ДИ 193,6–195,1) до 5 (ДИ 4,8–5,1) случаев.

Литература

(п.п. 2, 8–13, 16, 18, 23, 26, 27, 30 см. References)

1. Зайцева Н.В., Кирьянов Д.А., Камалтдинов М.Р., Устинова О.Ю., Бабина С.В., Цинкер М.Ю. и др. Анализ рисков потерь здоровья и комплексная оценка эффективности целевых мер территориальных систем здравоохранения по снижению смертности населения от сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний. *Здравоохранение Российской Федерации*. 2021; 65(4): 302–9. <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2021-65-4-302-309> <https://elibrary.ru/dvuudg>
2. Усачева Е.В., Нелидова А.В., Куликова О.М., Флянку И.П. Смертность трудоспособного населения России от сердечно-сосудистых заболеваний. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(2): 159–65. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-2-159-165> <https://elibrary.ru/ildcnn>
3. Яковлева Т.П., Михайлова Н.С., Тихонова Г.И., Калитина М.А. Сравнительный анализ заболеваемости и смертности населения, проживающего в различных климатических поясах России. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(9): 813–8. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2018-97-9-813-818> <https://elibrary.ru/ymkawd>
4. Зубко А.В., Сабгайда Т.П., Семенова В.Г., Музыкантова Н.Н. Потери российского населения от предотвратимых причин сердечно-сосудистой смертности в периоды до и во время пандемии. *Социальные аспекты здоровья населения*. 2023; 69(1): 6. <https://doi.org/10.21045/2071-5021-2023-69-1-6> <https://elibrary.ru/igkrt5>
5. Кобякова О.С., Стародубов В.И., Халтурина Д.А., Зыков В.А., Зубкова Т.С., Замятнина Е.С. Перспективные меры по снижению смертности в России: аналитический обзор. *Здравоохранение Российской Федерации*. 2021; 65(6): 573–80. <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2021-65-6-573-580> <https://elibrary.ru/tvvabt>
6. Седых Д.Ю., Барбараш О.Л., Индукаева Е.В., Артамонова Г.В. Отдельные показатели общественного здоровья в Сибирском федеральном округе, в условиях пандемии COVID-19. *Социальные аспекты здоровья населения*. 2023; 69(5): 3. <https://doi.org/10.21045/2071-5021-2023-69-5-3>
7. Шляхто Е.В., Конради А.О., Каронова Т.Л., Федотов П.А. Пандемия COVID-19 и сердечно-сосудистые заболевания. Уроки и перспективы. *Вестник Российской академии наук*. 2022; 92(7): 686–90. <https://doi.org/10.1134/S1019331622040098> <https://elibrary.ru/xjbayq>
8. Канорский С.Г. COVID-19 и сердце: прямое и косвенное влияние. *Кубанский научный медицинский вестник*. 2021; 28(1): 16–31. <https://doi.org/10.25207/1608-6228-2021-28-1-16-31> <https://elibrary.ru/wzllgs>

17. Бунова С.С., Охотникова П.И., Скирденко Ю.П., Николаев Н.А., Осипова О.А., Жернакова Н.И. COVID-19 и сердечно-сосудистая коморбидность: поиск новых подходов к снижению смертности. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2021; 20(4): 2953. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2021-2953> <https://elibrary.ru/wopwrt>
19. Барбараш О.Л., Бойцов С.А., Вайсман Д.Ш., Галевич А.С., Драпкина О.М., Забозлаев Ф.Г. и др. Проблемы оценки показателей смертности от отдельных причин position statement. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2018; 7(2): 6–9. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2018-7-2-6-9> <https://elibrary.ru/xturqd>
20. 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/aaioibc>
21. Асламова В.С., Плеханова О.С., Асламов А.А. Регрессионные модели оценки атмосферных выбросов загрязняющих веществ в городах Братск и Черемхово. *Математические методы в технологиях и технике*. 2023; (11): 79–82. https://doi.org/10.52348/2712-8873_MMTT_2023_11_79 <https://elibrary.ru/fighrfv>
22. Май И.В., Клейн С.В., Максимов Е.В. Результативность мероприятий федерального проекта «Чистый воздух» по ключевым показателям — качеству атмосферного воздуха и риску для здоровья населения г. Братска. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(12): 1367–74. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-12-1367-1374> <https://elibrary.ru/zkownwh>
24. Донцов В.И. Изменения смертности, продолжительности жизни и скорости старения в XX веке и возможные причины этого. *Здравоохранение Российской Федерации*. 2021; 65(1): 17–23. <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2021-65-1-17-23> <https://elibrary.ru/flezau>
25. Концевая А.В., Шальнова С.А., Драпкина О.М. Исследование ЭССЕ-РФ: эпидемиология и укрепление общественного здоровья. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2021; 20(5): 2987. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2021-2987-39> <https://elibrary.ru/wlwtjw>
28. Воевода М.И., Чернышев В.М., Мингазов И.Ф. Особенности естественного движения населения в Сибирском федеральном округе в период пандемии коронавирусной инфекции. *Сибирский научный медицинский журнал*. 2023; 43(5): 184–94. <https://doi.org/10.18699/SSMJ20230521>
29. Семёнова В.Г., Иванова А.Е., Сабгайда Т.П., Евдокухина Г.Н., Запорожченко В.Г. Первый год пандемии: социальный отклик в контексте причин смерти. *Здравоохранение Российской Федерации*. 2022; 66(2): 93–100. <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2022-66-2-93-100> <https://elibrary.ru/hcevmg>

References

1. Zaitseva N.V., Kir'yanov D.A., Kamaltdinov M.R., Ustinova O.Yu., Babina S.V., Tsinker M.Yu., et al. Health risks analysis and complex procedure for estimating the efficiency of targeted activities performed within regional public healthcare systems and aimed at reducing mortality among the population caused by cardiovascular diseases and oncologic diseases. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii*. 2021; 65(4): 302–9. <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2021-65-4-302-309> <https://elibrary.ru/dvuudg> (in Russian)
2. GBD 2019 Stroke Collaborators. Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet Neurol*. 2021; 20(10): 795–820. [https://doi.org/10.1016/s1474-4422\(21\)00252-0](https://doi.org/10.1016/s1474-4422(21)00252-0)
3. Usacheva E.V., Nelidova A.V., Kulikova O.M., Flyanku I.P. Mortality of Russian able-bodied population from cardiovascular diseases. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(2): 159–65. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-2-159-165> <https://elibrary.ru/ildcnn> (in Russian)
4. Yakovleva T.P., Mikhailova N.S., Tikhonova G.I., Kalitina M.A. The comparative analysis of incidence and mortality of the population living in various climatic zones of Russia. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2018; 97(9): 813–8. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2018-97-9-813-818> <https://elibrary.ru/ymkawd> (in Russian)
5. Zubko A.V., Sabgaida T.P., Semenova V.G., Muzykantova N.N. Mortality associated with preventable causes of deaths from cardio-vascular diseases in the pre-COVID period and during the pandemic in Russia. *Sotsial'nye aspekty zdorov'ya naseleniya*. 2023; 69(1): 6. <https://doi.org/10.21045/2071-5021-2023-69-1-6> <https://elibrary.ru/igkrtis> (in Russian)
6. Kobayakova O.S., Starodubov V.I., Khalturina D.A., Zykov V.A., Zubkova T.S., Zamyatnina E.S. Promising measures to reduce the mortality rate in Russia: an analytical review. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii*. 2021; 65(6): 573–80. <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2021-65-6-573-580> <https://elibrary.ru/tvvabt> (in Russian)
7. Sedych D.Yu., Barbarash O.L., Indukaeva E.V., Artamonova G.V. Selected public health indicators in the Siberian Federal District, the impact of COVID-19. *Sotsial'nye aspekty zdorov'ya naseleniya*. 2023; 69(5): 3. <https://doi.org/10.21045/2071-5021-2023-69-5-3> (in Russian)
8. Ungvari Z., Tarantini S., Donato A.J., Galvan V., Csiszar A. Mechanisms of vascular aging. *Circ. Res*. 2018; 123(7): 849–67. <https://doi.org/10.1161/circres.118.311378>
9. Liu C., Cai J., Chen R., Sera F., Guo Y., Tong S., et al. Coarse particulate air pollution and daily mortality: a global study in 205 cities. *Am. J. Respir. Crit. Care Med*. 2022; 206(8): 999–1007. <https://doi.org/10.1164/rccm.202111-2657oc>
10. Health Effects Institute. State of Global Air 2020. Special Report. Boston: Health Effects Institute; 2020. Available by: <https://stateofglobalair.org/sites/default/files/documents/2020-10/soga-2020-report.pdf>
11. Tan T., Hu M., Li M., Guo Q., Wu Y., Fang X., et al. New insight into PM_{2.5} 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>
12. Huang W., Zhou Y., Chen X., Zeng X., Knibbs L.D., Zhang Y., et al. Individual and joint associations of long-term exposure to air pollutants and cardiopulmonary mortality: a 22-year cohort study in Northern China. *Lancet Reg. Health West Pac*. 2023; 36: 100776. <https://doi.org/10.1016/j.lanwpc.2023.100776>
13. Lee W.E., Park S.W., Weinberger D.M., Olson D., Simonsen L., Grenfell B.T., et al. Direct and indirect mortality impacts of the COVID-19 pandemic in the US, March 2020 – April 2021. *medRxiv*. 2022. Preprint. <https://doi.org/10.1101/2022.02.10.22270721>
14. Shlyakhto E.V., Konradi A.O., Karonova T.L., Fedotov P.A. COVID-19 Pandemic and cardiovascular diseases: lessons and prospects. *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk*. 2022; 92(7): 686–90. <https://doi.org/10.1134/S1019331622040098> <https://elibrary.ru/xjbyaq> (in Russian)
15. Kanorskii S.G. COVID-19 and the heart: direct and indirect impact. *Kubanskii nauchnyi meditsinskii vestnik*. 2021; 28(1): 16–31. <https://doi.org/10.25207/1608-6228-2021-28-1-16-31> <https://elibrary.ru/wzlgls> (in Russian)
16. Kouhpayeh H. Clinical features predicting COVID-19 mortality risk. *Eur. J. Transl. Myol*. 2022; 32(2): 10268. <https://doi.org/10.4081/ejtm.2022.10268>
17. Bunova S.S., Okhotnikova P.I., Skiridenko Yu.P., Nikolaev N.A., Osipova O.A., Zhernakova N.I. COVID-19 and cardiovascular comorbidity: novel approaches to reduce mortality. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika*. 2021; 20(4): 2953. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2021-2953> <https://elibrary.ru/wopwrt> (in Russian)
18. Chang J., Deng Q., Guo M., Ezzati M., Baumgartner J., Bixby H., et al. Trends and inequalities in the incidence of acute myocardial infarction among Beijing townships, 2007–2018. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2021; 18(23): 12276. <https://doi.org/10.3390/ijerph182312276>
19. Barbarash O.L., Boitsov S.A., Vaisman D.Sh., Galyavich A.S., Drapkina O.M., Zabozlaev F.G., et al. Position statement on challenges in assessing cause-specific mortality. *Kompleksnye problemy serdechno-sosudistykh zabolevanii*. 2018; 7(2): 6–9. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2018-7-2-6-9> <https://elibrary.ru/xturqd> (in Russian)
20. 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)
21. Aslamova V.S., Plekhanova O.S., Aslamov A.A. Regression models for assessing atmospheric pollutant emissions in the cities of Bratsk and Cheremkhovo. *Matematicheskie metody v tekhnologiyakh i tekhnike*. 2023; (11): 79–82. https://doi.org/10.52348/2712-8873_MMTT_2023_11_79 <https://elibrary.ru/fighrfv> (in Russian)
22. Mai I.V., Klein S.V., Maksimova E.V. Effectiveness of the activities of the federal project «Clean air» by the quality of atmospheric air and risk for the health (by means of the example of the city Bratsk). *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(12): 1367–74. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-12-1367-1374> <https://elibrary.ru/zkownwh> (in Russian)
23. Gornov A.Yu., Zarodnyuk T.S., Anikin A.S., Sorokovikov P.S., Tyatyushkin A.I. Software engineering for optimal control problems. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022; 424: 415–26. https://doi.org/10.1007/978-3-030-97020-8_38
24. Dontsov V.I. Changes in mortality, life expectancy and the rate of aging in the XX century: possible causes. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii*. 2021; 65(1): 17–23. <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2021-65-1-17-23> <https://elibrary.ru/flezau> (in Russian)
25. Kontsevaya A.V., Shal'nova S.A., Drapkina O.M. ESSE-RF study: epidemiology and public health promotion. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika*. 2021; 20(5): 2987. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2021-2987-39> <https://elibrary.ru/wlwtjw> (in Russian)
26. Tadayon S., Wickramasinghe K., Townsend N. Examining trends in cardiovascular disease mortality across Europe: how does the introduction of a new European Standard Population affect the description of the relative burden of cardiovascular disease? *Popul. Health Metr*. 2019; 17(1): 6. <https://doi.org/10.1186/s12963-019-0187-7> <https://elibrary.ru/fwclff>
27. Baek J., Lee H., Lee H.H., Heo J.E., Cho S.M.J., Kim H.C. Thirty-six-year trends in mortality from diseases of circulatory system in Korea. *Korean Circ. J*. 2021; 51(4): 320–32. <https://doi.org/10.4070/kcj.2020.0424>
28. Voevoda M.I., Chernyshev V.M., Mingazov I.F. Features of natural population movement in the Siberian Federal District during the coronavirus pandemic. *Sibirskii nauchnyi meditsinskii zhurnal*. 2023; 43(5): 184–94. <https://doi.org/10.18699/SSMJ20230521> (in Russian)
29. Semenova V.G., Ivanova A.E., Sabgaida T.P., Evdokushkina G.N., Zapozhchenko V.G. The first year of the pandemic: social response in the context of causes of death. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii*. 2022; 66(2): 93–100. <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2022-66-2-93-100> <https://elibrary.ru/hcevmg> (in Russian)
30. Lefler J.S., Higbee J.D., Burnett R.T., Ezzati M., Coleman N.C., Mann D.D., et al. Air pollution and mortality in a large, representative U.S. cohort: multiple-pollutant analyses, and spatial and temporal decompositions. *Environ. Health*. 2019; 18(1): 101. <https://doi.org/10.1186/s12940-019-0544-9>

Сведения об авторах

Ефимова Наталья Васильевна, доктор мед. наук, профессор, вед. науч. сотр. лаб. эколого-гигиенических исследований ФГБНУ ВСИМЭИ, 665827, Ангарск, Россия. E-mail: medecolab@inbox.ru

Бобкова Елена Викторовна, зам. директора по медицинской статистике, ОГКУЗ Медицинский информационно-аналитический центр Иркутской области, 664003, Иркутск, Россия. E-mail: evb@miac-io.ru

Зароднюк Татьяна Сергеевна, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. лаб. оптимального управления ФБУН Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН, 664033, Иркутск, Россия. E-mail: tz@icc.ru

Горнов Александр Юрьевич, доктор техн. наук, гл. науч. сотр. лаб. оптимального управления ФБУН «Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова» СО РАН, 664033, Иркутск, Россия. E-mail: gornov@icc.ru

Information about the authors

Natalya V. Efimova, MD, DSc, professor, leading researcher of the Laboratory of Environmental and Hygienic Research of the East Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-7218-2147> E-mail: medecolab@inbox.ru

Elena V. Bobkova, MD, Deputy Director for Medical Statistics, Medical Information and Analytical Center of the Irkutsk Region, Irkutsk, 664003, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-8914-7903> E-mail: evb@miac-io.ru

Tatyana S. Zorodnyuk, PhD, senior researcher at the Laboratory of Optimal Control of the Institute of System Dynamics and Control Theory named after. V.M. Matrosov, SB RAS, Irkutsk, 664033, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-2170-689X> E-mail: tz@icc.ru

Alexander Yu. Gornov, DSc (tech), chief researcher of the Laboratory of Optimal Control of the Institute of System Dynamics and Control Theory named after V.M. Matrosov, SB RAS, Irkutsk, 664033, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-8340-5729> E-mail: gornov@icc.ru