

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2020

Салтыкова М.М., Балакаева А.В., Федичкина Т.П., Бобровницкий И.П.

Основные причины смертности, обусловленной загрязнением воздуха

ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» ФМБА России, 119121, Москва

Целью данной работы являлся анализ влияния загрязнения атмосферного воздуха на структуру причин смертности от основных неинфекционных заболеваний в городах Российской Федерации.

Материал и методы. В ходе исследования была проанализирована смертность лиц трудоспособного возраста (со стратификацией по полу и причинам смерти) в парах городов, таких, что в городах каждой пары природные и социально-экономические условия были сходными, а уровень загрязнения воздуха в одном городе существенно превосходил уровень загрязнения в другом. Были сформированы следующие пары городов («грязный» – «относительно чистый»): Братск – Киров; Нижний Тагил – Киров; Новокузнецк – Томск; Чита – Томск; Магнитогорск – Оренбург; Череповец – Вологда. В анализ были включены данные о смертности от болезней системы кровообращения, органов дыхания и онкологических заболеваний, поскольку, по данным ВОЗ, загрязнение атмосферного воздуха влияет прежде всего на смертность от ишемической болезни сердца, инсульта, хронической обструктивной болезни лёгких и рака лёгкого.

Результаты. Смертность лиц трудоспособного возраста от болезней системы кровообращения, прежде всего от сердечно-сосудистых заболеваний, достоверно выше в городах с высоким уровнем загрязнения по сравнению с городами с более низким уровнем загрязнения и сходными природно-климатическими и социально-экономическими условиями. Смертность мужчин от цереброваскулярных заболеваний в группе «грязных» городов выше, чем в городах сравнения в 4 из 6 пар сравнения. При этом различия в смертности женщин менее выражены и выявлены в 2 из 6 пар сравнения. Различия в смертности от онкологических заболеваний выявлены в 4 из 6 пар сравнения для женщин и в 2 из 6 пар сравнения для мужчин.

Заключение. Анализ смертности, проведённый с использованием попарного сравнения городов, показал, что загрязнение атмосферного воздуха в наибольшей степени влияет на смертность от болезней системы кровообращения.

К л ю ч е в ы е с л о в а : загрязнение атмосферного воздуха; смертность населения; причины смерти; болезни системы кровообращения; болезни органов дыхания; онкологические заболевания.

Для цитирования: Салтыкова М.М., Балакаева А.В., Федичкина Т.П., Бобровницкий И.П. Основные причины смертности, обусловленной загрязнением воздуха. Гигиена и санитария. 2020; 99 (4): 337–343. DOI: <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-4-337-343>

Для корреспонденции: Салтыкова Марина Михайловна, доктор биол. наук, зав. лаб. экологической физиологии, биоклиматологии и арктической медицины ФГБУ «ЦСП» ФМБА России, 119121, Москва. E-mail: Marinams2002@mail.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания; тема НИР «Анализ влияния загрязнения окружающей среды на продолжительность жизни и структуру причин смерти населения» (АААА-А19-119020890029-1).

Участие авторов: концепция и дизайн исследования – Салтыкова М.М., Федичкина Т.П., Бобровницкий И.П.; сбор и обработка материала – Федичкина Т.П., Балакаева А.В.; статистическая обработка – Салтыкова М.М., Балакаева А.В.; написание текста – Салтыкова М.М., Федичкина Т.П., Бобровницкий И.П.; редактирование – Балакаева А.В., Бобровницкий И.П.; утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все соавторы.

Поступила: 31.12.2019

Принята к печати: 25.02.2020

Опубликована: 26.05.2020

Saltykova M.M., Balakaeva A.V., Fedichkina T.P., Bobrovnikskii I.P.

Leading air pollution related reasons of death

«Centre for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks» of the Federal Medical Biological Agency, Moscow, 119121, Russian Federation

The aim of this study was to analyze the effect of air pollution on the structure of reasons of death from major non communicable diseases in cities of the Russian Federation

Material and methods. The study analyzed the mortality of people of working age (with stratification by gender and causes of death) in pairs of cities, with matching the cities of each pair by the climatic and socio-economic conditions, but the level of air pollution in one city significantly exceeded the level of pollution in another. The following pairs of cities were formed (“dirty” – “relatively clean”): Bratsk-Kirov; Nizhny Tagil-Kirov; Novokuznetsk-Tomsk; Chita-Tomsk; Magnitogorsk - Orenburg, Cherepovets-Vologda. The analysis included data on the mortality from diseases of the circulatory system, respiratory system, and oncological diseases, since according to WHO, air pollution primarily affects mortality from coronary heart disease, stroke, chronic obstructive pulmonary disease, and lung cancer.

Results. The mortality rate of people of working age from diseases of the circulatory system, primarily from cardiovascular diseases, is significantly higher in cities with a high level of pollution compared with cities with a lower level of pollution and similar climatic and socio-economic conditions. The mortality rate of men from cerebrovascular diseases in the group of dirty cities is higher than in compared cities in 4 out of 6 studied pairs. Moreover, differences in the mortality rate in women were less pronounced, they were revealed in 2 out of 6 compared pairs. The differences in mortality from oncological diseases were detected in 4 out of 6 comparison pairs for women and 2 out of 6 compared pairs for men.

Conclusion. An analysis of the mortality used pairwise comparison of cities showed air pollution to most affect on the mortality from diseases of the circulatory system.

Key words: air pollution; mortality rate; causes of death; circulatory system diseases; respiratory diseases; oncological diseases.

For citation: Saltykova M.M., Balakaeva A.V., Fedichkina T.P., Bobrovnikskii I.P. Leading air pollution related reasons of death. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2020; 99(4): 337-343. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-4-337-343>

For correspondence: Marina M. Saltykova, MD, Ph.D., DSci., head of the laboratory of ecological physiology, bioclimatology and arctic medicine of the Centre for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks of FMBA of Russia, Moscow, 119121, Russian Federation. E-mail: Marinams2002@mail.ru

Information about the authors:

Saltykova M.M., <https://orcid.org/0000-0002-1823-8952>; Balakaeva A.V., <https://orcid.org/0000-0003-4217-4300>; Bobrovnikskii I.P., <https://orcid.org/0000-0002-1805-4010>

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgment. The work was carried out within the framework of the state task; the research topic is "Analysis of the impact of environmental pollution on the life expectancy and the structure of causes of death of the population" (AAAA19-119020890029-1).

Contribution: Saltykova M.M. – the concept and design of the study, statistical processing, writing the text; Balakaeva A.V. – collection and processing of material, statistical processing, editing; Fedichkina T.P. – collection and processing of material, writing the text; Bobrovnikskii I.P. – the concept and design of the study, writing the text, editing. Approval of the final version of the manuscript, responsibility for the integrity of all parts of the manuscript – all co-authors.

Received: December 31, 2019

Accepted: February 25, 2020

Published: May 26, 2020

Введение

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), воздействие загрязняющих воздух веществ является одним из ведущих факторов риска неинфекционных заболеваний [1].

Европейское региональное бюро ВОЗ при финансовой поддержке ЕС реализовало два проекта: «Данные о медицинских аспектах загрязнения воздуха для формирования новой политики ЕС» (Evidence on health aspects of air pollution to review EU policies – REVIHAAP) и «Риски для здоровья вследствие загрязнения воздуха в Европе» (Health Risks of Air Pollution in Europe – HRAPIE), которые позволили предложить научно обоснованные рекомендации, направленные на снижение риска для здоровья вследствие загрязнения воздуха [2]. Проведённые эпидемиологические исследования показали, что снижение загрязнения воздуха в городах является одним из эффективных средств профилактики хронических неинфекционных заболеваний [3].

Основными загрязняющими веществами, рекомендованными ВОЗ для обязательного контроля, являются взвешенные частицы (particulate matter (PM)), озон, диоксид серы, оксид азота, оксид углерода, сумма углеводородных соединений, метан и безметановые углеводороды. При этом загрязнение воздуха мелкодисперсными РМ является пятым среди основных факторов риска смертности в мире [4, 5]. С использованием математических моделей было установлено, что в 2015 г. загрязнение воздуха этими частицами способствовало 40,3% всех смертей от инсульта, 26,8% – от ишемической болезни сердца, 23,9% – от рака лёгкого, 18,7% – от хронической обструктивной болезни лёгких [6].

По данным ВОЗ, наибольший (72%) вклад загрязнение воздуха взвешенными частицами вносит в смертность от инсульта и ишемической болезни сердца: по 36% от всего количества смертей, обусловленных загрязнением [1]. Смертность от рака лёгкого составляет 14%, от хронической обструктивной болезни лёгких – 8%. В исследованиях, проведённых в разных регионах мира, было показано, что высокие концентрации мелкодисперсных взвешенных частиц могут индуцировать развитие артериальной гипертензии, что является одним из главных факторов риска сердечно-сосудистой смертности [7–9]. Lin H. и соавт. при анализе данных более 12,5 тыс. человек в возрасте 50 лет и старше, проживавших в Китае на территориях с разным уровнем загрязнения воздуха, показали, что более 10% случаев развившейся артериальной гипертензии были обусловлены хроническим загрязнением воздуха [7].

Scheers H. и соавт. [10] провели метаанализ результатов рандомизированных контролируемых исследований, выполненных за последнее десятилетие, и показали, что длительное воздействие воздуха, загрязнённого взвешенными частицами, является фактором риска инсульта: для мелкодисперсных частиц размером менее 10 мкм относительный риск составляет 2,61 (95% ДИ: 1,13–6), а менее 2,5 мкм – 3,2 (95% ДИ: 1,26–8,09). Основными механизмами, посредством которых загрязнение воздуха влияет на сердечно-сосудистую систему, являются окислительный стресс, системное воспаление, дисфункция эндотелия сосудов [9, 11].

Вместе с тем до настоящего времени в исследованиях, проводимых в Российской Федерации и направленных на анализ влияния загрязнения воздуха на смертность от основных причин, смертности от болезни системы кровообращения (БСК) не уделялось достаточного внимания, акцент в большинстве исследований делался на смертности от онкологических заболеваний и болезней органов дыхания. При этом среди всех причин смерти болезни системы кровообращения занимают первое место как в Российской Федерации, так и в мире в целом.

Целью данной работы являлся анализ влияния загрязнения атмосферного воздуха на структуру причин смерти от основных неинфекционных заболеваний.

Материал и методы

Для достижения поставленной цели была проанализирована смертность лиц трудоспособного возраста (со стратификацией по полу и причинам смерти) в парах городов, таких, что в городах каждой пары природные и социально-экономические условия были сходными, а уровень загрязнения воздуха в одном городе существенно превосходил уровень загрязнения в другом.

Материалом для исследования служили предоставленные Росстатом сведения о ежегодной смертности населения со стратификацией по полу, возрасту и причинам смерти, данные Росгидромета по загрязнению атмосферного воздуха в городах РФ, а также электронные базы данных показателей муниципальных образований [15] и Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС) [16].

В анализ были включены данные за 2011–2018 гг.

При проведении статистического анализа был использован критерий Манна–Уитни, различия считались достоверными при $p < 0,01$. Для статистической характеристики среднегодовых концентраций загрязняющих веществ, а

также ежегодной смертности населения в каждом из городов, включённых в исследование, и для каждой группы кодов причин смерти использовались следующие показатели: медиана (*Me*) – как показатель центра распределения значений, нижний и верхний квартили (Q_1 и Q_3) – как показатели разброса значений.

Результаты

Отбор городов Российской Федерации для включения в исследование. На первом этапе по данным Ежегодников Росгидромета за 2012–2017 гг. из 243 городов, в которых велись наблюдения за состоянием атмосферного воздуха, были выбраны 43 города с населением от 230 до 650 тыс. [12–14]. Среди этих 43 отобранных городов были выбраны города с очень высоким загрязнением атмосферного воздуха, они составили группу «грязных» городов («ГГ»). В эту группу были включены города, которые вошли и в Приоритетный список Росгидромета (список городов с наиболее высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха), и в федеральный проект «Чистый воздух» национального проекта «Экология». Индекс загрязнения атмосферы во всех городах более 14. Всего в группу «грязных» городов было включено 5 городов: Братск, Магнитогорск, Нижний Тагил, Новокузнецк, Чита. Источниками загрязнения в первых четырёх городах являются прежде всего металлургические предприятия, а также ТЭЦ и автомобильный транспорт. В Чите основными источниками являются предприятия теплоэнергетики и автомобильный транспорт, при этом очень высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха обусловлен тем, что город находится в межгорной котловине с низким рассеивающим потенциалом атмосферы.

На следующем этапе для выбора городов, сходных с городами из группы «ГГ» по социально-экономическим условиям и доступности медицинской помощи, но с существенно более низким уровнем загрязнения атмосферного воздуха дополнительно были проанализированы электронные базы данных (БД) показателей муниципальных образований [15] и Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС) [16]. Для того чтобы оценить значимость изолированного влияния загрязнения атмосферного воздуха на смертность населения, на основании анализа БД для каждого города из группы «ГГ» был выбран город с более низким уровнем загрязнения, находящийся в сопоставимых климатических и социально-экономических условиях, информация о котором была достаточно полно представлена в открытых источниках. Наиболее значимыми показателями, характеризующими социально-экономическое состояние в городах и представленных в материалах Росстата, являются среднемесячная заработная плата на предприятиях города и среднедушевой доход. В данной работе использовалась среднемесячная заработная плата как показатель, более устойчивый к влиянию экономического неравенства [17, 18]. Для того чтобы учесть межрегиональные различия в стоимости товаров и услуг, этот показатель нормировали на прожиточный минимум для соответствующего региона.

Критериями отбора пар городов были следующие:

1) нахождение в одной природно-климатической зоне, по данным Института географии РАН, представленным в монографии А.Н. Золотокрылина и соавт. «Районирование территории Российской Федерации по природным условиям жизни населения» [19];

2) сходные величины среднемесячной заработной платы работников организаций, нормированной на прожиточный минимум соответствующего региона (средняя за 2013–2016 гг. величина в «относительно чистом» городе не превосходила соответствующее значение в «грязном» городе более чем на 0,2).

Таким образом, были отобраны 3 города (Оренбург, Томск, Киров) и сформированы следующие пары городов

Таблица 1

Величины среднемесячной заработной платы работников организаций в отобранных городах за 2013–2016 гг., нормированные на прожиточный минимум соответствующего региона

Город	Год			
	2013	2014	2015	2016
Киров	3,8	3,7	3,1	3,5
Братск	3,8	3,7	3,2	3,6
Нижний Тагил	3,9	4,0	3,4	3,2
Томск	4,4	4,3	3,7	3,9
Новокузнецк	4,2	4,1	3,7	3,8
Чита	4,8	4,4	3,3	3,8
Оренбург	4,7	4,5	3,8	4,1
Магнитогорск	4,4	4,3	3,8	4,1
Вологда	3,9	3,7	3,1	3,3
Череповец	4,9	4,7	4,0	4,3

(«грязный» – «относительно чистый»): Братск – Киров; Нижний Тагил – Киров; Новокузнецк – Томск; Чита – Томск; Магнитогорск – Оренбург. Кроме того, чтобы оценить, может ли зависимость смертности от загрязнения нивелироваться несколько лучшими социально-экономическими условиями, в анализ была включена пара городов Череповец – Вологда, что было обусловлено высоким сходством природно-климатических условий в этих городах, расстояние между которыми составляет менее 150 км, при значительных различиях в уровне загрязнения атмосферного воздуха (в Череповце более высокий уровень загрязнения, обусловленный наличием крупных промышленных предприятий, прежде всего предприятий металлургической и химической промышленности) и экономических показателей (в Череповце среднемесячная заработная плата работников организаций в 2013–2016 гг. была на 7,5–10 тыс. рублей выше, чем в Вологде; при нормировании на прожиточный минимум она была на 1 выше, чем в Вологде).

Таким образом были отобраны 10 городов: 6 «грязных» городов (группа «ГГ») и 4 «относительно чистых» города (группа «ГЧГ»). Основной вклад в загрязнение в «относительно чистых» городах дают предприятия теплоэнергетики и транспорт. Однако в Оренбурге значимым является и вклад газодобывающей и газоперерабатывающей промышленности. Все отобранные города находятся в зоне с условно неблагоприятными природно-климатическими условиями и интегральной оценкой природной дискомфортности от 3,6 до 4,5 балла [19].

Данные по величине среднемесячной заработной платы работников организаций, нормированной на прожиточный минимум региона, в отобранных городах за 2013–2016 гг. представлены в табл. 1. В таблицу включены данные только за 2013–2016 гг., поскольку в данных муниципальной статистики Росстата этот период представлен наиболее полно.

Интегральные показатели загрязнения в этих городах в период с 2010 по 2017 г. представлены в табл. 2. Результаты статистического анализа отдельных показателей загрязнения воздуха (взвешенные частицы (PM), диоксид серы (SO₂), диоксид азота (NO₂), оксид азота (NO), оксид углерода (CO), формальдегид (Ф, CH₂O), бенз(а)пирен (БП, C₂₀H₁₂)) с указанием среднегодовых концентраций в городах с разным уровнем загрязнения представлены в табл. 3. Как видно из таблиц, во всех городах с очень высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха (города группы «ГГ» за исключением г. Череповец) достоверно выше загрязнение взвешенными частицами, диоксидом серы и бенз(а)пиреном.

Таблица 2

Данные по уровню загрязнения в анализируемых городах за период с 2010 по 2017 г. согласно Ежегодникам Росгидромета

Город	Год							
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Киров	В	В	В	П	П	Н	Н	Н
Братск	ОВ	ОВ	ОВ	ОВ	ОВ	ОВ	ОВ	ОВ
Нижний Тагил	ОВ	ОВ	ОВ	В	В	В	В	В
Томск	В	В	В	В	П	П	П	П
Новокузнецк	ОВ	ОВ	В	ОВ	ОВ	В	ОВ	ОВ
Чита	ОВ	ОВ	ОВ	ОВ	ОВ	ОВ	ОВ	ОВ
Оренбург	В	В	В	П	П	Н	Н	Н
Магнитогорск	ОВ	ОВ	ОВ	ОВ	В	В	ОВ	ОВ
Вологда	П	П	П	П	Н	Н	Н	Н
Череповец	В	В	В	В	П	П	П	П

Примечание. Уровень загрязнения воздуха: ОВ – очень высокий (индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) более 14); В – высокий (ИЗА от 7 до 13); П – повышенный (ИЗА от 5 до 6); Н – низкий (ИЗА менее 5).

В Череповце по сравнению с Вологдой достоверно выше концентрации оксида углерода и формальдегида, при этом в Вологде достоверно выше концентрация диоксида азота. Помимо перечисленных веществ среди приоритетных загрязнителей в отобранных городах были: фтороводород (Братск и Новокузнецк), аммиак (Нижний Тагил и Новокузнецк), сероуглерод (Братск), этилбензол (Магнитогорск), хлороводород (Томск) и сажа (Чита).

Анализ данных смертности. В ходе исследования была проанализирована смертность мужчин и женщин в трудоспособном возрасте (для женщин с 18 до 55 лет, для мужчин – с 18 до 60 лет) от болезней системы кровообращения, органов дыхания и онкологических заболеваний.

Причины смерти от разных нозологий были сгруппированы следующим образом.

1. Группа «ССЗ» – сердечно-сосудистые заболевания. Коды причин смерти: 117-132, соответствующие коды МКБ-10: I10-I51.

2. Группа «ЦВЗ» – цереброваскулярные заболевания. Коды причин смерти: 133-141, соответствующие коды МКБ-10: I60-I69.

3. Группа «БСК» – болезни системы кровообращения, эта группа представляла собой объединение групп «ССЗ» и «ЦВЗ».

Таблица 3

Результаты сравнительного анализа загрязнения воздуха в отобранных городах по отдельным веществам

Вещество	ПДК с.с.	Киров («чистый»)	Братск («грязный»)		Нижний Тагил («грязный»)		Оренбург («чистый»)	Магнитогорск («грязный»)	
		Me (Q ₁ ; Q ₃)	Me (Q ₁ ; Q ₃)	p (Киров)	Me (Q ₁ ; Q ₃)	p (Киров)	Me (Q ₁ ; Q ₃)	Me (Q ₁ ; Q ₃)	p (Оренбург)
Взвешенные частицы, мг/м ³	0,15	0,092 (0,075; 0,095)	0,1855 (0,168; 0,218)	0,005	0,112 (0,107; 0,116)	0,007	0,1285 (0,116; 0,158)	0,302 (0,229; 0,327)	0,005
Диоксид серы (SO ₂), мг/м ³	0,05	0,001 (0,001; 0,001)	0,002 (0,001; 0,003)	0,018	0,0105 (0,009; 0,011)	0,005	0,0035 (0,003; 0,004)	0,0205 (0,019; 0,024)	0,005
Диоксид азота (NO ₂), мг/м ³	0,04	0,0175 (0,014; 0,021)	0,0365 (0,027; 0,056)	0,005	0,028 (0,025; 0,032)	0,005	0,041 (0,032; 0,046)	0,042 (0,039; 0,046)	0,260
Оксид азота (NO), мг/м ³	0,06	0,0095 (0,007; 0,01)	0,013 (0,007; 0,029)	0,093	0,0205 (0,019; 0,024)	0,005	0,018 (0,014; 0,022)	0,026 (0,018; 0,034)	0,01
Оксид углерода (CO), мг/м ³	3	1,3 (1,26; 1,4)	1,08 (1,01; 1,17)	0,009	1,325 (0,53; 2,05)	0,959	1,395 (1,27; 1,9)	1,915 (1,68; 2,42)	0,037
Формальдегид (CH ₂ O), мг/м ³	0,003	0,007 (0,006; 0,007)	0,0145 (0,013; 0,018)	0,005	0,016 (0,014; 0,018)	0,005	0,006 (0,006; 0,006)	0,014 (0,013; 0,015)	0,018
Бенз(а)пирен (C ₂₀ H ₁₂), нг/м ³	1	1,45 (0,8; 1,7)	5,5 (3,8; 7)	0,008	2,1 (2; 2,2)	0,01	1,3 (0,8; 1,6)	5,2 (3,8; 5,7)	0,005

Вещество	ПДК с.с.	Томск («чистый»)	Новокузнецк («грязный»)		Чита («грязный»)		Вологда («чистый»)	Череповец («грязный»)	
		Me (Q ₁ ; Q ₃)	Me (Q ₁ ; Q ₃)	p (Томск)	Me (Q ₁ ; Q ₃)	p (Томск)	Me (Q ₁ ; Q ₃)	Me (Q ₁ ; Q ₃)	p (Вологда)
Взвешенные частицы, мг/м ³	0,15	0,103 (0,096; 0,111)	0,1675 (0,12; 0,22)	0,009	0,2205 (0,199; 0,263)	0,005	0,069 (0,053; 0,079)	0,0835 (0,073; 0,092)	0,154
Диоксид серы (SO ₂), мг/м ³	0,05	0,001 (0,001; 0,001)	0,008 (0,006; 0,012)	0,005	0,018 (0,015; 0,024)	0,005	0,001 (0,001; 0,002)	0,002 (0,001; 0,004)	0,075
Диоксид азота (NO ₂), мг/м ³	0,04	0,037 (0,031; 0,043)	0,0445 (0,032; 0,048)	0,386	0,0415 (0,035; 0,047)	0,314	0,034 (0,025; 0,038)	0,022 (0,02; 0,024)	0,005
Оксид азота (NO), мг/м ³	0,06	0,021 (0,013; 0,023)	0,025 (0,013; 0,027)	0,333	0,0175 (0,015; 0,02)	0,721	0,014 (0,01; 0,02)	0,012 (0,009; 0,013)	0,141
Оксид углерода (CO), мг/м ³	3	1,72 (1,17; 2,42)	1,42 (1,2; 1,49)	0,169	1,09 (1,04; 1,18)	0,059	0,635 (0,27; 0,7)	1,05 (1,03; 1,08)	0,005
Формальдегид (CH ₂ O), мг/м ³	0,003	0,011 (0,008; 0,013)	0,008 (0,007; 0,008)	0,144	0,0115 (0,009; 0,014)	0,953	0,0055 (0,004; 0,006)	0,0095 (0,008; 0,01)	0,01
Бенз(а)пирен (C ₂₀ H ₁₂), нг/м ³	1	1 (0,85; 1,6)	5,85 (4,6; 6,7)	0,01	7,75 (5,5; 9,8)	0,01	1 (0,9; 1,6)	1,7 (0,9; 2,05)	0,076

Примечание. ПДКс.с. – среднесуточные предельно допустимые концентрации; Me – медиана значений среднегодовых концентраций за 2011–2018 гг.; Q₁ и Q₃ – первый и третий квартили распределения значений за 2011–2018 гг.; p – достоверность (ошибка I рода) различий в концентрациях загрязняющих веществ в «грязном» городе по сравнению с городом сравнения (достоверными считались различия при p < 0,01).

Таблица 4

Статистические характеристики ежегодной смертности женщин и мужчин (на 100 тыс. населения) в отобранных городах: медиана (1-й квартиль; 3-й квартиль)

Город	Причина смерти													
	сердечно-сосудистые заболевания		цереброваскулярные заболевания		болезни системы кровообращения		злокачественные новообразования		злокачественные новообразования трахеи, бронхов и лёгкого		болезни органов дыхания		хроническая обструктивная болезнь лёгких	
	женщины	мужчины	женщины	мужчины	женщины	мужчины	женщины	мужчины	женщины	мужчины	женщины	мужчины	женщины	мужчины
Киров	25 (20; 29)	185 (164; 189)	9 (7; 10)	36 (33; 41)	33 (29; 38)	221 (198; 229)	40 (34; 44)	84 (83; 92)	2 (1; 3)	22 (19; 24)	6 (3; 7)	33 (27; 40)	0 (0; 1)	2 (1; 2)
Братск	70 (62; 74)	339 (320; 351)	19 (14; 22)	63 (57; 65)	86 (78; 97)	405 (380; 421)	59 (55; 63)	109 (104; 126)	5 (3; 5)	30 (27; 36)	17 (5; 23)	60 (41; 82)	0 (0; 1)	5 (4; 9)
Нижний Тагил	49 (46; 50)	253 (247; 258)	15 (14; 17)	65 (57; 66)	65 (59; 68)	315 (297; 325)	54 (51; 60)	119 (103; 121)	3 (2; 4)	34 (30; 38)	14 (11; 17)	55 (34; 55)	1 (0; 1)	4 (3; 6)
Томск	21 (19; 21)	118 (107; 127)	10 (9; 12)	30 (28; 31)	31 (28; 34)	152 (137; 160)	43 (41; 48)	71 (70; 80)	3 (2; 3)	21 (19; 21)	11 (9; 14)	33 (33; 40)	0 (0; 1)	4 (3; 6)
Новокузнецк	40 (39; 42)	191 (179; 193)	15 (13; 17)	51 (45; 64)	56 (52; 62)	242 (224; 256)	66 (61; 70)	119 (119; 127)	3 (3; 4)	34 (28; 34)	17 (13; 17)	38 (37; 43)	1 (1; 1)	11 (6; 13)
Чита	41 (27; 44)	168 (146; 184)	12 (10; 13)	37 (35; 38)	54 (35; 59)	208 (184; 221)	51 (49; 56)	90 (86; 92)	3 (2; 4)	26 (25; 27)	11 (10; 13)	36 (30; 51)	1 (0; 2)	6 (5; 8)
Оренбург	33 (30; 38)	189 (173; 197)	11 (10; 13)	38 (36; 39)	45 (39; 50)	225 (211; 236)	48 (46; 49)	96 (89; 102)	2 (1; 2)	28 (24; 28)	10 (6; 12)	35 (34; 47)	0 (0; 1)	2 (1; 3)
Магнитогорск	51 (46; 57)	247 (240; 268)	12 (10; 13)	45 (44; 53)	63 (57; 66)	290 (286; 316)	55 (53; 64)	104 (97; 112)	2 (2; 3)	26 (24; 29)	11 (9; 13)	46 (34; 49)	4 (2; 4)	9 (9; 15)
Вологда	20 (18; 22)	165 (150; 172)	11 (10; 13)	54 (51; 56)	31 (30; 32)	217 (202; 226)	47 (44; 50)	103 (98; 107)	3 (1; 3)	25 (19; 30)	9 (7; 10)	48 (38; 65)	0 (0; 0)	2 (2; 3)
Череповец	38 (35; 41)	222 (219; 253)	13 (11; 14)	50 (44; 52)	52 (43; 54)	275 (263; 301)	50 (46; 52)	92 (84; 98)	3 (2; 3)	21 (19; 26)	10 (8; 11)	42 (38; 63)	0 (0; 0)	1 (1; 2)

4. Группа «Рак» – злокачественные новообразования. Коды причин смерти: 56-89, соответствующие коды МКБ-10: C00-C97.

5. Группа «Рак ТБЛ» – злокачественные новообразования трахеи, бронхов и лёгкого. Код причины смерти: 66, соответствующие коды МКБ-10: C34-C34.

6. Группа «БОД» – болезни органов дыхания. Коды причин смерти: 148-164, соответствующие коды МКБ-10: J00-J99.

7. Группа «ХОБЛ» – хроническая обструктивная болезнь лёгких. Коды причин смерти: 156-158, соответствующие коды МКБ-10: J40-J44.

Для каждой из 7 групп по ежегодным данным Росстата о количестве умерших в трудоспособном возрасте и о соответствующем количестве мужчин и женщин в отобранных городах была рассчитана смертность от указанной группы причин на 100 тыс. населения.

Статистические характеристики ежегодной смертности женщин и мужчин в отобранных городах представлены в табл. 4.

Попарное сравнение городов проводилось отдельно для каждой группы причин смерти со стратификацией по полу. Данные по ХОБЛ были исключены из попарного сравнения в связи с небольшим количеством случаев, в которых причиной смерти указана ХОБЛ, поскольку относительно велико число случайных колебаний при указании относительно редких причин смерти (особенно для женщин), а также колебаний, обусловленных используемыми методиками кодирования основной причины смерти в случае внегоспитальной смерти.

Уровень статистической значимости различий в смертности женщин и мужчин между городами, находящимися в сопоставимых климатических и экономических условиях, но с разным уровнем загрязнения, представлен в табл. 5. Каж-

дая строка таблицы соответствует паре сравниваемых городов, а каждый столбец – группе причин смерти.

Как видно из приведённых таблиц, смертность лиц трудоспособного возраста от болезней системы кровообращения, прежде всего от сердечно-сосудистых заболеваний, достоверно выше во всех городах с высоким уровнем загрязнения по сравнению с городами с более низким уровнем загрязнения и сходными природно-климатическими и социально-экономическими условиями. Особый интерес представляет сравнение городов Вологда и Череповец, которые находятся в одинаковых климатических условиях, но уровень жизни в Череповце выше, чем в Вологде, при этом смертность от ССЗ в Череповце достоверно выше, чем в Вологде, как среди мужчин, так и среди женщин.

Смертность мужчин от ЦВЗ в большинстве городов группы «ГГГ» выше, чем в «ГЧГ». Исключение составляют только г. Череповец и г. Чита. При этом различия в смертности женщин от ЦВЗ менее выражены: только в городах Братск и Нижний Тагил смертность от ЦВЗ выше, чем в городах сравнения. Это может быть обусловлено тем, что смертность женщин в трудоспособном возрасте от ЦВЗ меньше, а мощность используемых статистических критериев может быть недостаточной, чтобы выявить небольшие различия (использование более мощных критериев параметрической статистики в данном случае неприемлемо в силу: 1) невозможности в данном исследовании использовать статистический материал с «глубиной» более 30 лет, а также 2) отклонения статистического распределения используемых показателей от нормального распределения).

Смертность от онкологических заболеваний в городах с высоким уровнем загрязнения выше для женщин в 4 и для мужчин в 2 из 6 пар сравнения. Смертность мужчин от рака трахеи, бронхов и лёгкого была выше в 4 из 6 городов с высоким уровнем загрязнения (Братск, Нижний Тагил,

Уровни статистической значимости различий между городами в смертности женщин и мужчин трудоспособного возраста

«ГЧГ»	Причина смерти												«ГТГ»
	сердечно-сосудистые заболевания		цереброваскулярные заболевания		болезни системы кровообращения		злокачественные новообразования		злокачественные новообразования трахеи, бронхов и лёгкого		болезни органов дыхания		
	женщины	мужчины	женщины	мужчины	женщины	мужчины	женщины	мужчины	женщины	мужчины	женщины	мужчины	
Киров	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,01	0,17	0,07	Братск
Киров	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,25	0,00	0,00	0,04	Нижний Тагил
Томск	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,19	0,00	0,06	0,10	Новокузнецк
Томск	0,01	0,01	0,34	0,02	0,04	0,01	0,02	0,04	0,64	0,00	1,00	0,60	Чита
Оренбург	0,00	0,00	0,92	0,01	0,00	0,00	0,01	0,16	0,46	0,71	0,46	0,64	Магнитогорск
Вологда	0,00	0,00	0,43	0,10	0,00	0,00	0,37	0,10	0,75	0,60	0,32	0,56	Череповец

Новокузнецк, Чита) по сравнению с соответствующими более «чистыми» городами (Киров, Томск). Достоверных различий среди женщин выявлено не было.

Достоверно большие значения смертности от БОД выявлены только среди мужчин в Нижнем Тагиле.

Обсуждение

Проведённое попарное сравнение городов РФ с разным уровнем загрязнения атмосферного воздуха показало, что в городах с высоким уровнем загрязнения выше прежде всего смертность от болезней системы кровообращения, при этом наибольшие различия зарегистрированы для смертности от сердечно-сосудистых заболеваний, что подтвердило результаты, полученные с помощью математического моделирования, показавшие, что в РФ загрязнение атмосферного воздуха даёт наибольший вклад в смертность от ишемической болезни сердца [1].

Известно, что одним из наиболее значимых факторов, влияющих на смертность от БСК, являются социально-экономические условия [20, 21]. Вместе с тем в данном исследовании было показано, что несколько более высокий уровень жизни (среднемесячная заработная плата работников организаций выше на 7,5–10 тыс. рублей в Череповце по сравнению с Вологдой) не компенсирует негативного влияния на здоровье загрязнения окружающей среды, прежде всего – воздуха.

В ходе исследования было выявлено, что в четырех из шести городов с высоким уровнем загрязнения, включённых в исследование, смертность женщин от онкологических заболеваний была достоверно выше, чем в городах сравнения. При этом различий в смертности от рака трахеи, бронхов и

лёгкого выявлено не было, то есть различия обусловлены онкологическими заболеваниями, не связанными с болезнями органов дыхания. Напротив, большая в «ГТГ» смертность мужчин от онкологических заболеваний в целом в двух «грязных» городах была обусловлена в том числе и раком трахеи, бронхов и лёгкого. Большие различия между городами в смертности мужчин от рака ТБЛ могут быть обусловлены как большей распространённостью курения среди мужчин, что обуславливает снижение резистентности дыхательной системы, так и большей вовлечённостью мужчин в производство с вредными условиями труда и загрязнением воздуха в рабочих помещениях.

Заключение

Исследования, проведённые с использованием разных подходов: математического моделирования [1, 4–6] и попарного сравнения городов (данное исследование), выполненные на разном исходном материале, показали, что загрязнение воздуха в наибольшей степени влияет на смертность от болезней системы кровообращения. Смертность от БСК является первой по значимости причиной смертности в РФ, поэтому расширение мероприятий, направленных как на снижение уровня загрязнения в промышленных городах, так и на раннее выявление патологических изменений, прежде всего в сердечно-сосудистой системе, а также профилактических мер, направленных на повышение резистентности организма в условиях работы и проживания в местах с высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха, может способствовать существенному снижению смертности и повышению продолжительности жизни в промышленных городах.

Литература (пп. 1, 3–8, 10, 11 см. References)

- Héroux M.E., Braubach M., Korol N., Krzyzanowski M., Paunovic E., Zastenskaya I. Основные выводы о медицинских аспектах загрязнения воздуха: проекты REVIHAAP и HRAPIE ВОЗ/ЕК. *Гигиена и санитария*. 2013; 6: 9–14
- Табакаев М.В., Артамонова Г.В. Влияние загрязнения атмосферного воздуха взвешенными веществами на распространённость сердечно-сосудистых заболеваний среди городского населения. *Вестник РАМН*. 2014; 3–4: 55–60.
- ФГБУ «ГГО» Росгидромета. Ежегодник. Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2013. г. Санкт-Петербург; 2014. 275 с.
- ФГБУ «ГГО» Росгидромета. Ежегодник. Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2016. г. Санкт-Петербург; 2017. 227 с.
- ФГБУ «ГГО» Росгидромета. Ежегодник. Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2017. г. Санкт-Петербург; 2018. 234 с.
- База данных показателей муниципальных образований. URL: <https://www.gks.ru/dbscripts/munst/>
- Величина прожиточного минимума. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/30957>.
- Белехова Г.В., Россошанский А.И., Чекмарева Е.А. Возможности повышения уровня жизни населения за счет роста заработной платы. *Вопросы территориального развития*. 2015; 8 (28): 1–16.
- Андреев Е.М., Школьников В.М. Связь между уровнями смертности и экономического развития в России и ее регионах. *Демографическое обозрение*. 2018; 5 (1): 6–24.
- Золотокрылин А.Н., Кренке А.Н., Виноградова В.В. *Районирование России по природным условиям жизни населения*. М.: Геос; 2012. 156 с.
- Бойцов С.А., Самородинская И.В., Семенов В.Ю. Влияние медицинских и немедицинских факторов на смертность населения: экономические факторы. *Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины*. 2016; 24 (6): 335–9.
- Бойцов С.А., Шальнова С.А., Дев А.Д. Смертность от сердечно-сосудистых заболеваний в Российской Федерации и возможные механизмы её изменения. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2018; 118 (8): 98–103.

References

- World Health Organization. Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease. 2016. ISBN: 9789241511353. URL: <https://www.who.int/phe/publications/air-pollution-global-assessment/en>. (date of access: 20.10.2019)
- Heroux M.E., Braubach M., Korol N., Krzyzanowski M., Paunovic E., Zastenskaya I. The main conclusions about the medical aspects of air pollution: the projects and REVIHAAP HRAPIE WHO/EC. *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*. 2013; 6: 9–14.
- Hao Y., Zhang G., Han B., Xu X., Feng N., Li Y. et al. Prospective evaluation of respiratory health benefits from reduced exposure to airborne particulate matter. *Int J Environ Health Res*. 2017; 27 (2): 126–35.
- Cohen A.J., Brauer M., Burnett R., Anderson H.R., Frostad J., Estep K. et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *Lancet*. 2017; 389 (10082): 1907–18.
- Lelieveld J., Evans J.S., Fnais M., Giannadaki D., Pozzer A. The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*. 2015; (525): 367–71.
- Song C., He J., Wu L., Jin T., Chen X., Li R. et al. Health burden attributable to ambient PM_{2.5} in China. *Environ Pollut*. 2017; 223: 575–86.
- Lin H., Guo Y., Zheng Y., Di Q., Liu T., Xiao J. Long-Term Effects of Ambient PM_{2.5} on Hypertension and Blood Pressure and Attributable Risk among Older Chinese Adults. *Hypertension*. 2017; 69 (5): 806–12.
- Requia W.J., Adams M.D., Koutrakis P. Association of PM_{2.5} with diabetes, asthma, and high blood pressure incidence in Canada: A spatiotemporal analysis of the impacts of the energy generation and fuel sales. *Sci Total Environ*. 2017; (584–585): 1077–83. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.166>. Epub 2017 Feb 4.
- Tabakaev M.V., Artamonova G.V. Influence of atmospheric air pollution by suspended solids on the prevalence of cardiovascular diseases among the urban population. *Vestnik RAMN [Bulletin of RAMS]*. 2014; 3–4: 55–60. (in Russian)
- Scheers H., Jacobs L., Casas L. et al. Long-term exposure to particulate matter air pollution is a risk factor for stroke: meta-analytical evidence. *Stroke*. 2015; 46: 3058–66.
- Stone V., Miller M.R., Clift M.J.D., Elder A., Mills N.L., Moller P. et al. Nanomaterials vs Ambient Ultrafine Particles: an Opportunity to Exchange Toxicology Knowledge. *Environ Health Perspect*. 2017; 25 (10): 106002. DOI: <https://doi.org/10.1289/EHP424>.
- FSB “GGO” Roshydromet. Yearbook. The state of air pollution in cities on the territory of Russia for 2013. St. Petersburg; 2014. 275 p. (in Russian)
- FGBI “GGO” Roshydromet. Yearbook. The state of air pollution in cities on the territory of Russia for 2016. St. Petersburg; 2017. 222 p. (in Russian)
- FSBI “GGO” Roshydromet. Yearbook. The state of air pollution in cities in Russia in 2017. St. Petersburg; 2018. 234 p. (in Russian)
- Database of indicators of municipalities. Available at <https://www.gks.ru/dbscripts/munst/>. (in Russian)
- The value of the subsistence minimum. Available at <https://www.fedstat.ru/indicator/30957>. (in Russian)
- Belekhova G.V., Rossoshansky A.I., Chekmareva E.A. Opportunities for improving the living standards of the population due to wage growth. *Voprosy territorial'nogo razvitiya [Issues of Territorial Development]*. 2015; 8 (28): 1–16. (in Russian)
- Andreev E.M., Shkolnikov V.M. The relationship between mortality rates and economic development in Russia and its regions. *Demograficheskoye obozreniye [Demographic Review]*. 2018; 5 (1): 6–24. (in Russian)
- Zolotokrylin A.N., Krenke A.N., Vinogradova V.V. Zoning of Russia according to the natural conditions of life of the population [Rayonirovaniye Rossii po prirodnyim usloviyam zhizni naseleniya]. Moscow: Geos; 2012. 156 p. (in Russian)
- Boytsov S.A., Samorodinskaya I.V., Semenov V.Yu. The influence of medical and non-medical factors on mortality: economic factors. *Problemy sotsial'noy gigiyeny, zdravookhraneniya i istorii meditsiny [Problems of Social Hygiene, Public Health and History of Medicine]*. 2016; 24 (6): 335–9. (in Russian)
- Boytsov S.A., Shalnova S.A., Deev A.D. Mortality from cardiovascular diseases in the Russian Federation and possible mechanisms for its change. *Zhurnal nevrologii i psikiatrii im. S.S. Korsakova [S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry]*. 2018; 118 (8): 98–103. (in Russian)