

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА СМЕРТНОСТЬ ОТ ОСНОВНЫХ НЕИНФЕКЦИОННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОЛА И ВОЗРАСТА

© 2021 г. ¹М. М. Салтыкова, ¹А. В. Балакаева, ^{1,2}О. В. Шопина, ^{1,3}И. П. Бобровницкий

¹ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью»
Федерального медико-биологического агентства, г. Москва; ²ФГБОУ ВО «Московский государственный
университет им. М. В. Ломоносова», г. Москва; ³ФГАУ ВО «Первый Московский государственный медицинский
университет им. И. М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет), г. Москва

Введение: Определение групп пациентов, наиболее уязвимых для влияния загрязнения воздуха, является необходимым звеном в разработке профилактических мер, направленных на повышение резистентности организма человека в условиях работы и проживания в местах с высоким уровнем загрязнения воздуха, что будет способствовать существенному снижению смертности и повышению продолжительности жизни в промышленных городах.

Цель: Анализ влияния загрязнения атмосферного воздуха на смертность от основных неинфекционных заболеваний со стратификацией по полу, возрасту и причинам смерти.

Методы: Для оценки изолированного влияния загрязнения атмосферного воздуха на смертность населения отобраны четыре пары городов со сходными природными и социально-экономическими условиями, но различным уровнем загрязнения воздуха (первый город с очень высоким загрязнением, второй – относительно чистый): Братск – Киров; Чита – Томск; Нижний Тагил – Киров; Магнитогорск – Оренбург. Проводилось сравнение показателей смертности от основных неинфекционных заболеваний со стратификацией по полу, возрасту и нозологической форме. Для оценки значимости различий между показателями ежегодной смертности в парах городов с разным уровнем загрязнения использовался двусторонний критерий Манна – Уитни.

Результаты: Наибольшие различия выявлены в показателях смертности от сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ), они статистически значимо выше во всех возрастных группах, начиная с молодого возраста, в городах с высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха по сравнению с городами сравнения. Медианные значения смертности от ССЗ в первой группе городов не менее чем на 30 % превосходили соответствующие значения во второй. Влияние на смертность от других причин существенно менее выражено.

Вывод: Полученные результаты указывают на необходимость проведения в городах с высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха дополнительных обследований во всех возрастных группах, начиная с молодого возраста, направленных на выявление и оценку факторов риска развития болезней системы кровообращения.

Ключевые слова: загрязнение атмосферного воздуха, смертность, сердечно-сосудистые заболевания, онкологические заболевания, болезни органов дыхания

ANALYSIS OF ASSOCIATIONS BETWEEN AIR POLLUTION AND MORTALITY FROM NONCOMMUNICABLE DISEASES ACROSS GENDERS AND AGE-GROUPS

¹M. M. Saltykova, ¹A. V. Balakaeva, ^{1,2}O. V. Shopina, ^{1,3}I. P. Bobrovnikskii

¹Federal State Budgetary Institution “Centre for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks”
of the Federal Medical Biological Agency, Moscow; ²Lomonosov Moscow State University, Moscow;
³I. M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

Introduction: Identification of the groups of patients that are the most vulnerable to the effects of ambient air pollution is required for the development of public health measures to promote health and prevent diseases in cities with a high level of atmospheric air pollution with the further going aim to reduce mortality and increase life expectancy of the population

Aim: To analyze associations between air pollution and mortality from the most common non-communicable diseases stratified across genders and age-groups.

Methods: To assess the isolated effect of ambient air pollution on the mortality rate, we selected 4 pairs of cities with similar climatic and socio-economic condition, but with high vs. low levels of air pollution. There pairs were: Bratsk - Kirov; Chita - Tomsk; Nizhny Tagil - Kirov; Magnitogorsk - Orenburg. Differences in mortality rates from major non-communicable diseases between the cities were analyzed using stratification by gender and age.

Results: Cardiovascular mortality in cities with high levels of air pollution significantly exceeded mortality in cities with low pollution in all age groups. The differences in mortality from respiratory causes and neoplasms was less pronounced.

Conclusion: The results suggest that high levels of air pollution may be associated with greater cardiovascular mortality in all age-groups. Closer monitoring of cardiovascular health of residents of polluted cities is warranted.

Key words: Ambient air pollution, mortality, cardiovascular diseases, cancer, respiratory diseases

Библиографическая ссылка:

Салтыкова М. М., Балакаева А. В., Шопина О. В., Бобровницкий И. П. Анализ влияния загрязнения атмосферного воздуха на смертность от основных неинфекционных заболеваний в зависимости от пола и возраста // Экология человека. 2021. № 12. С. 14–22.

For citing:

Saltykova M. M., Balakaeva A. V., Shopina O. V., Bobrovnikskii I. P. Analysis of Associations between Air Pollution and Mortality from Noncommunicable Diseases Across Genders and Age-Groups. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2021, 12, pp. 14–22.

Введение

По данным ВОЗ [32, 33], смертность от основных неинфекционных заболеваний составляет более 60 % от общей смертности в мире, при этом загрязнение атмосферного воздуха, прежде всего взвешенными частицами, является пятым из 25 основных факторов риска их развития.

В крупных международных исследованиях, проведенных в последние десятилетия в разных странах, показано, что загрязнение воздуха в наибольшей степени влияет на смертность от болезней системы кровообращения [6, 32, 33]. Вместе с тем в российских исследованиях, направленных на анализ зависимости смертности населения от загрязнения воздуха, акцент делается на онкологические заболевания и болезни органов дыхания [5, 7]. В связи с этим необходимо проведение дополнительных исследований для определения нозологических форм, в наибольшей степени связанных с загрязнением в городах Российской Федерации (РФ). Результаты таких исследований необходимы для разработки профилактических мер, направленных на повышение резистентности организма человека в условиях работы и проживания в местах с высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха, что, в свою очередь, будет способствовать существенному снижению смертности и повышению продолжительности жизни в промышленных городах.

Целью данной работы являлся анализ влияния загрязнения атмосферного воздуха на смертность от основных неинфекционных заболеваний со стратификацией по полу, возрасту и причинам смерти.

Методы

Для того чтобы оценить изолированное влияние загрязнения атмосферного воздуха на смертность населения, проводилось попарное сравнение показателей смертности, стратифицированных по полу, возрасту и нозологической форме, в городах со сходными природными и социально-экономическими условиями, но разным уровнем загрязнения воздуха.

В качестве городов с высоким уровнем загрязнения воздуха («грязные» города) в исследование были включены четыре города с населением от 250 до 550 тыс. человек, ежегодно входящие в формируемый Росгидрометом Список городов России с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха [8–10]: Братск, Магнитогорск, Нижний Тагил и Чита. Основными источниками загрязнения в Братске, Магнитогорске и Нижнем Тагиле являются металлургические предприятия. Высокий уровень загрязнения в Чите обусловлен его расположением в Читино-Ингодинской межгорной котловине с низким потенциалом самоочищения атмосферы, в связи с

этим при относительно невысоком количестве выбросов в атмосферу загрязняющих веществ уровень загрязнения в городе очень высокий. Кроме того, во всех городах, включенных в исследование, существенный вклад в загрязнение атмосферного воздуха вносят выбросы предприятий теплоэнергетики и автотранспорта.

Для проведения сравнительного анализа для каждого из городов с очень высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха в исследование был включен крупный город с меньшим загрязнением атмосферного воздуха по данным Росгидромета, но со сходными социально-экономическими и природными условиями, находящийся в той же климатической зоне по данным Института географии РАН [4]. Для характеристики социально-экономического уровня жизни населения использовался экономический индекс (ЭИ), который вычислялся на основании данных Росстата [2] как среднее значение отношения среднемесячной заработной платы на предприятиях города (показатель, наиболее устойчивый к влиянию экономического неравенства [1]) к прожиточному минимуму соответствующего региона за 2013–2016 годы. Различия ЭИ между городами внутри одной пары не превосходили 0,2.

Таким образом, были сформированы следующие пары городов («грязный» – «чистый»): Братск (ЭИ = 3,6) – Киров (ЭИ = 3,5), Нижний Тагил (ЭИ = 3,6) – Киров (ЭИ = 3,5), Чита (ЭИ = 4) – Томск (ЭИ = 4), Магнитогорск (ЭИ = 4,2) – Оренбург (ЭИ = 4,3).

Сравнительный анализ загрязнения атмосферного воздуха в городах показал, что во всех «грязных» городах по сравнению с соответствующими «чистыми» статистически значимо выше загрязнение взвешенными веществами, диоксидом серы и бенз(а)пиреном. Кроме того, в Братске по сравнению с Кировым значимо выше загрязнение диоксидом азота и оксидом углерода, в Нижнем Тагиле – диоксидом и оксидом азота, в Магнитогорске по сравнению с Оренбургом значимо выше загрязнение оксидами азота и углерода и формальдегидом.

Для проведения сравнительного анализа смертности в городах с разным уровнем загрязнения в исследование были включены данные за 2011–2018 годы о количестве населения с учетом пола и возраста, а также сведения о количестве умерших в пятилетних возрастных группах с указанием пола и причин смерти (коды МКБ-10), предоставленные Федеральной службой государственной статистики.

В исследование были включены три группы причин смерти:

1) сердечно-сосудистые заболевания – ССЗ (коды МКБ-10: I10–I51),

2) злокачественные новообразования — ОНК (коды МКБ-10: C00–C97),

3) болезни органов дыхания — БОД (коды МКБ-10: J00–J99).

Выбор указанных групп определялся следующим. В большинстве российских исследований, посвященных оценке влияния загрязнения атмосферного воздуха, анализируются заболеваемость и смертность населения только от злокачественных образований и болезней органов дыхания [5, 7]. Вместе с тем, по данным ВОЗ [33], наибольший вклад загрязнение воздуха дает в смертность от болезней системы кровообращения. При этом, поскольку в общей смертности населения от болезней системы кровообращения доминирует смертность от ССЗ, а вклад цереброваскулярных болезней много меньше, в исследование помимо смертности от болезней органов дыхания и онкологических заболеваний были включены данные по смертности от ССЗ.

Для стратификации по возрасту использовалось следующее разбиение по возрастным подгруппам: 20–44 года, 45–54, 55–59, 60–64, 65–70, 70–74, 75–80 и старше 80 лет.

Указанный выбор возрастных подгрупп определялся балансом двух факторов: первый — необходимость детально проанализировать влияние загрязнения на смертность в зависимости от возраста, второй — существенно более низкий уровень смертности в младших возрастных подгруппах (до 45 лет) обуславливал их объединение для корректного проведения статистического анализа.

Для каждой из подгрупп по ежегодным данным Росстата о количестве проживающих в отобранных городах мужчин и женщин и о количестве умерших была рассчитана смертность на 100 тыс. населения соответствующего пола и возраста.

Для статистической характеристики анализируемых подгрупп использовались медиана (Me) как показатель центра распределения значений ежегодной смертности, нижний и верхний квартили (Q1 и Q3) — как показатели разброса её значений. Для оценки значимости различий между показателями ежегодной смертности в парах городов с разным уровнем загрязнения использовался двусторонний критерий Манна — Уитни, статистически значимыми считались различия при p менее 0,05.

Результаты

В табл. 1–6 представлены результаты анализа показателей смертности населения от различных причин (ССЗ — табл. 1 и 2, ОНК — табл. 3 и 4, БОД — табл. 5 и 6) отдельно для мужчин и женщин со стратификацией по возрасту. Символами «*» и «**» обозначены случаи значимого и высоко значимого повышения показателей смертности в городах с высоким уровнем загрязнения воздуха относительно соответствующих им показателей в городах с меньшим загрязнением.

Как видно из табл. 1 и 2, во всех городах с высоким загрязнением атмосферного воздуха смертность от ССЗ как мужчин, так и женщин значимо выше во всех возрастных группах.

Различия в смертности от ОНК (табл. 3 и 4) менее выражены. Однако в молодом возрасте (20–44 года) во всех городах с высоким загрязнением атмосферного воздуха смертность женщин значимо выше.

Различий в смертности от БОД, характерных для всех пар городов, включенных в исследование, выявлено не было (табл. 5 и 6).

Обсуждение результатов

Таким образом, проведенное исследование, основанное на попарном сравнении показателей смертности в городах РФ с разным уровнем загрязнения

Таблица 1
Результаты статистического анализа показателей смертности женщин от сердечно-сосудистых заболеваний
(на 100 тыс.), Me (Q1; Q3)

Возраст, годы	Томск «чистый»	Чита «грязный»	Киров «чистый»	Братск «грязный»	Нижний Тагил «грязный»	Оренбург «чистый»	Магнитогорск «грязный»
20–44	12,8 (10,2; 13,9)	21,5 (13,8; 29,7)	11,1 (8,5; 14,3)	43,7 (36,1; 52)**	30,9 (20,9; 33,1)**	22,4 (19,1; 27,3)	33,2 (29,1; 35,8)**
45–54	60,6 (50,8; 64,3)	99,4 (81,3; 133,2)**	75,6 (56,4; 90)	144,1 (127,6; 160,4)**	106,5 (92,6; 115,6)*	74,9 (66,9; 84,2)	111 (92,7; 129,6)**
55–59	155,8 (134,9; 160,4)	238,2 (154,3; 283,5)	154,4 (122,1; 173,5)	284,5 (229,7; 295,1)**	208,2 (167,7; 251,2)*	148,4 (122,1; 164,7)	213,5 (203,1; 258,1)**
60–64	267,3 (240,6; 321,7)	391,3 (325,8; 452,8)**	243,1 (189,3; 280,7)	414,3 (332,7; 462,6)**	379,1 (338,8; 402,9)**	250,5 (224,7; 288,1)	321 (291,8; 394,5)*
65–69	476,8 (437,1; 513,5)	605,3 (536,6; 667,1)**	397,6 (317,4; 466,4)	611,2 (523; 704,2)**	607,8 (532,1; 665,2)**	465,7 (386,7; 546)	602,3 (543,2; 769,9)*
70–74	859,9 (810,5; 916,3)	1130,4 (976,6; 1328,3)**	737,7 (619,2; 830,7)	1005,6 (818,6; 1269,6)**	960,9 (828; 1180)*	725,3 (659,7; 797,3)	983,1 (919,5; 1079,9)**
75–79	1551,4 (1392,9; 1664,3)	2388,8 (1740,8; 2780,3)*	1301,5 (1164; 1573,8)	2051 (1745,4; 2335,9)**	1907,6 (1544,6; 2364,9)**	1543,6 (1417,9; 1822,8)	2019,1 (1880,2; 2286,4)**
> 80	4930,4 (4262,3; 5710,6)	5298,2 (4975,2; 5998,4)	4143,8 (3936,4; 4284,7)	5473,4 (4994,5; 5808,5)**	5482,7 (3348,5; 7172,6)	3821 (3389,1; 4002,6)	5917,2 (5349,8; 6085,1)**

Примечание для табл. 1–6: * — значимое ($p < 0,05$) отличие от показателей в соответствующем «чистом» городе; ** — высоко значимое ($p < 0,01$) отличие от показателей в соответствующем «чистом» городе.

Таблица 2

Результаты статистического анализа показателей смертности мужчин от сердечно-сосудистых заболеваний
(на 100 тыс.), Ме (Q1; Q3)

Возраст, годы	Томск «чистый»	Чита «грязный»	Киров «чистый»	Братск «грязный»	Нижний Тагил «грязный»	Оренбург «чистый»	Магнитогорск «грязный»
20–44	42,1 (36,6; 44,2)	68,5 (53,3; 82,2)**	60,7 (57,6; 62,1)	147,8 (129,1; 191,9)**	94,7 (78,6; 113,3)**	73,6 (65; 83,3)	117,6 (103,9; 125,7)**
45–54	278,5 (247,7; 321,2)	387,3 (329,3; 466,8)**	362,8 (332,6; 403,1)	566,3 (537,8; 621)**	464 (408,9; 488,1)**	376,7 (349,2; 409,9)	418,8 (391,7; 455,2)
55–59	586,1 (540,1; 640)	760,6 (701,3; 908,7)**	704,4 (635,2; 745,8)	1073,9 (905,1; 1154,8)**	889,2 (818,8; 953,9)**	633,9 (625,4; 717,4)	876,9 (776,3; 933,1)**
60–64	963 (832,4; 1009,1)	1225,3 (1063,9; 1373,6)*	1142 (926,6; 1235,1)	1362,9 (1253,6; 1603,1)*	1337,5 (1242,4; 1423,6)**	1058,1 (965,9; 1139,5)	1379,9 (1137,5; 1453,2)**
65–69	1281,5 (1165; 1331,9)	1709,7 (1213,9; 1998,9)	1379,7 (1287,9; 1558,4)	2035,4 (1683,4; 2342,1)**	1842,8 (1453,4; 2059,4)*	1443,4 (1309,7; 1626,5)	1766,5 (1709,4; 1878,1)**
70–74	1762,1 (1606,4; 2001,3)	2219,9 (2080,9; 2558,9)**	1808,8 (1771,9; 1935)	2447,7 (2261,6; 2849,6)**	2167,7 (1812; 2784)	1704,5 (1580,1; 1970,2)	2462,4 (2110,8; 2629,6)**
75–79	2903,4 (2590; 3179,2)	3927,3 (3274,9; 4676,6)**	2835,2 (2373,4; 3421,7)	3746,9 (3643,8; 3938,2)**	3642,6 (3351,2; 4441,3)*	2914,7 (2523,4; 3121,9)	3877,4 (3625,2; 4174,7)**
> 80	5034,9 (4499,5; 5598)	6579,4 (5649,4; 6945,8)*	5274,2 (5127; 5816,3)	5867 (5649,6; 6968,9)*	6162,3 (3962; 8734,2)	4675,3 (4035,4; 5104,2)	6685,9 (6129,9; 7608,8)**

Таблица 3

Результаты статистического анализа показателей смертности женщин от онкологических заболеваний
(на 100 тыс.), Ме (Q1; Q3)

Возраст, годы	Томск «чистый»	Чита «грязный»	Киров «чистый»	Братск «грязный»	Нижний Тагил «грязный»	Оренбург «чистый»	Магнитогорск «грязный»
20–44	21,6 (20,9; 22,4)	25,8 (22,4; 27,6)*	19,4 (18,3; 21,3)	30,6 (25,6; 33,2)*	28,6 (25,1; 29,6)**	22,3 (19,8; 26,2)	31,4 (26,4; 34,7)**
45–54	151,9 (134,1; 167,3)	164,4 (149,1; 185,4)	111,6 (90; 127,6)	142,6 (129,2; 165,7)**	137,3 (120,5; 143,5)*	135,4 (114,4; 152,7)	142,7 (123,1; 163)
55–59	294 (280,1; 315,9)	301,6 (274,6; 329,2)	227,3 (188,3; 260,2)	230,6 (210,6; 300,1)	241,4 (222,5; 262,8)	215,4 (185,1; 225,4)	282,6 (242,9; 309,7)**
60–64	393,9 (370,8; 445,7)	468,7 (414,7; 496,9)*	346,5 (322,3; 394,3)	380,5 (313,7; 408,5)	378,4 (352; 401,1)	402,4 (349,8; 442,1)	386,4 (365,2; 424)
65–69	542,5 (515,4; 590)	580,9 (532,6; 686,1)	507,2 (471,1; 569,7)	482,4 (411,1; 535,6)	528,9 (463,7; 591)	511,9 (465,8; 587,5)	522,8 (483,9; 586,6)
70–74	651,4 (633,1; 681,7)	814,1 (734,8; 888,1)*	581,4 (485,3; 660,8)	663,5 (604,5; 668,9)	631,9 (508,6; 665)	707,2 (613,2; 766)	633,2 (602,2; 691,3)
75–79	912 (781,8; 1067,5)	1068,8 (997,4; 1136,8)	799,2 (685,2; 819,4)	710,7 (703,4; 768,6)	768,5 (686,3; 951,8)	962,2 (869,8; 974,5)	859,6 (765,3; 1045,8)
> 80	1406,9 (1256,2; 1507,8)	1015,1 (949,9; 1205,3)*	987,6 (962,5; 1088,3)	966 (824; 1101,3)	1054,1 (759,3; 1164,8)	1206,8 (1126,4; 1270,6)	1077,4 (897,7; 1148,7)*

Таблица 4

Результаты статистического анализа показателей смертности мужчин от онкологических заболеваний
(на 100 тыс.), Ме (Q1; Q3)

Возраст, годы	Томск «чистый»	Чита «грязный»	Киров «чистый»	Братск «грязный»	Нижний Тагил «грязный»	Оренбург «чистый»	Магнитогорск «грязный»
20–44	17,1 (15,4; 20,1)	18,6 (16,4; 24)	18,6 (17,2; 22,2)	29,4 (18,9; 33,9)	22 (18,3; 28,2)	18,2 (16,1; 24,2)	20,8 (16,5; 26,5)
45–54	164,5 (151,1; 191,2)	202,5 (178,5; 235,9)	169,2 (157,3; 193,9)	208,7 (188,8; 229,2)*	196,6 (179,8; 211,6)	182,7 (175,8; 187,7)	185,4 (178,7; 206,1)
55–59	460,5 (445,1; 509,8)	577 (505,6; 621,4)*	444,6 (403; 462,6)	507,1 (418,7; 532,3)	499,9 (438,1; 552,4)	473,2 (443,7; 550,2)	502,1 (450,7; 544)
60–64	716 (696,5; 837)	966,6 (940,7; 1012,7)**	820,3 (769,4; 896,8)	854,4 (702,2; 936,7)	876,8 (729,4; 950,2)	853,6 (789,7; 903)	851,1 (733,1; 949,2)
65–69	1125,4 (1013,5; 1180,3)	1332 (1125,9; 1352,4)*	1227,5 (1136,4; 1367,8)	1445,6 (1220,9; 1589,2)	1349,1 (1149,1; 1550,9)	1400 (1313,5; 1469,3)	1143,4 (1035,2; 1288,7)*
70–74	1482,1 (1382,4; 1631,3)	1780,9 (1621,9; 1814,1)**	1724,2 (1373,5; 1902,6)	1677,2 (1426,1; 1727,5)	1358,5 (1187,1; 1461,4)	1882,7 (1719,7; 1977,1)	1567,9 (1331,6; 1791)*
75–79	1996,3 (1724,1; 2394,3)	2000,8 (1827,6; 2119,3)	1990,5 (1829,5; 2195,7)	1900,4 (1653,9; 2208,7)	1823,1 (1551,8; 1973,6)	2242,6 (2153,9; 2354,8)	2208,2 (2068,1; 2300,8)
> 80	2384,8 (2158,3; 2619,6)	1897,2 (1682,3; 2551,5)	2522,5 (2275,8; 2670,9)	2026,5 (1831,1; 2561,1)*	1881 (1540,4; 2218,5)*	2506,9 (2348,6; 2704,6)	2259,7 (1844,5; 2444,4)*

Таблица 5

Результаты статистического анализа показателей смертности женщин от болезней органов дыхания (на 100 тыс.), Ме (Q1; Q3)

Возраст, годы	Томск «чистый»	Чита «грязный»	Киров «чистый»	Братск «грязный»	Нижний Тагил «грязный»	Оренбург «чистый»	Магнитогорск «грязный»
20–44	6,2 (5,5; 11,3)	7,7 (7,5; 10,4)	3,7 (2,4; 4,3)	18,1 (6,6; 23,3)*	11,1 (7,3; 14,7)**	9,3 (4,5; 12,1)	9,4 (5,4; 11,3)
45–54	22,9 (12,9; 30,7)	17 (10,2; 34,7)	11,6 (8,2; 15,3)	19,5 (16,8; 29,8)*	21,1 (17,3; 24,7)**	11,2 (5,2; 19)	19,8 (12; 24)
55–59	23,6 (13,3; 34,3)	47,2 (17,5; 68,3)	14,4 (11,8; 18,9)	21,3 (5,2; 37)	29,5(22;38,8)**	24,7 (11,3; 30,6)	18,3 (15,3; 18,6)
60–64	38,1 (26,5; 42,7)	54,6 (49,5; 81,1)*	24,8 (18,7; 29,2)	29,6 (11,7; 35,2)	26,3 (17,4; 34,3)	23,9 (18; 31,7)	23,4 (16,1; 29,6)
65–69	72 (57,9; 85,9)	116,5 (87,6; 138,3)*	56,8 (46,1; 64)	47,7 (0; 63,5)	39,5 (19,7; 54,5)	38,8 (25,5; 48,1)	31,2 (17,1; 45,4)
70–74	91,6 (73,2; 107,7)	97,6 (58,4; 151,5)	51,7 (34; 82,3)	94,3 (73,3; 118,1)	82,8 (33,8; 111,4)	43,5 (34,6; 62,7)	33,3 (25,3; 61,9)
75–79	169,3 (137,1; 215,1)	171,6 (72,2; 194,4)	86,8 (72,9; 106)	109,8 (79,6; 130,2)	100,5 (76,9; 122,7)	103,8 (96,6; 118,1)	124,8 (88; 135,6)
> 80	515,8 (422,8; 589,2)	340,8 (321,9; 488,7)	201,5 (107,2; 281,7)	286,3 (195,7; 374,9)	243,4 (201; 257,8)	260,7 (183,5; 338)	318 (198,8; 383,7)*

Таблица 6

Результаты статистического анализа показателей смертности мужчин от болезней органов дыхания (на 100 тыс.), Ме (Q1; Q3)

Возраст, годы	Томск «чистый»	Чита «грязный»	Киров «чистый»	Братск «грязный»	Нижний Тагил «грязный»	Оренбург «чистый»	Магнитогорск «грязный»
20–44	19,3 (17,7; 30,9)	15,9 (12,3; 22,1)*	12,4 (8,8; 16)	36,9 (21,5; 44,6)**	28,5 (26,9; 30,5)**	26,9 (20,2; 39,8)	25,9 (14,9; 30,8)
45–54	80,4 (65,2; 100,8)	87,3 (68,6; 108,1)	55,9 (43,9; 77)	92,5 (63,3; 109,9)	63,8 (41,7; 88,2)	97,9 (73,1; 114,2)	73,9 (55,5; 84,6)
55–59	126,2 (116,9; 134,8)	126,3 (115,2; 171,2)	104,8 (88,2; 116,3)	110 (71,3; 125,3)	92,1 (68,8; 170,7)	119,7 (81; 144,7)	104,6 (71; 154,2)
60–64	168,1 (146,6; 206,7)	208 (166,2; 316,5)	140,6 (118; 205,2)	168,1 (111; 226,2)	189,9 (157,5; 201,3)	150,2 (127,2; 195)	160 (126,4; 178,5)
65–69	264,4 (245,9; 352)	322,4 (195,4; 389,4)	221,3 (189,2; 263,2)	298,6 (210,5; 349,8)	297,7 (236,6; 366,1)	238,7 (207,3; 274,3)	286,7 (238,5; 339,5)
70–74	376,8 (301,2; 442,1)	471,5 (379,6; 579)	318,1 (248,2; 377)	291,4 (175,6; 372,7)	329,4 (298,7; 444,6)	369,7 (334,6; 415)	302,2 (247,9; 404,2)
75–79	736,2 (625; 764,2)	555,2 (450,6; 745,1)	402,4 (350,1; 563,9)	523,7 (333,1; 692,7)	491,4 (466,6; 660,6)	553 (507,6; 694,6)	507,5 (439,1; 546,4)
> 80	1141,6 (948,8; 1310,1)	929,7 (705,5; 1214,7)	649,8 (500,8; 933,7)	765,9 (587,3; 1011,4)	883,9 (666,8; 1058,9)	1003,3 (904,5; 1203,2)	811,4 (635,7; 1084)

атмосферного воздуха, показало, что загрязнение атмосферного воздуха в наибольшей степени влияет на смертность от ССЗ: она значимо выше во всех возрастных группах в городах с высоким уровнем загрязнения, при этом различия в смертности от онкологических заболеваний и болезней органов дыхания существенно менее выражены. Полученные результаты согласуются с результатами математического моделирования, показавшими, что в РФ загрязнение атмосферного воздуха дает наибольший вклад в смертность от ишемической болезни сердца и инсульта [33].

Необходимо отметить, что повышенная смертность от ССЗ в городах с высоким уровнем загрязнения воздуха характерна как для мужчин, так и для женщин. Это свидетельствует о существенном влиянии на смертность в этих городах факторов окружающей среды (прежде всего загрязненный воздух), поскольку производственные факторы в большей степени влияют на смертность мужчин, так как к работе в цехах с вредными условиями труда они привлекаются

значительно чаще, чем женщины. Значимость влияния экологических факторов на смертность от ССЗ подтверждается и тем фактом, что в Чите, в которой нет крупных металлургических или химических предприятий, а высокий уровень загрязнения воздуха обусловлен расположением города в межгорной котловине с низким потенциалом самоочищения атмосферы, выявленные закономерности в показателях смертности сходны с теми, которые были найдены для крупных промышленных центров.

Уязвимость сердечно-сосудистой системы для влияния загрязнения окружающего воздуха была продемонстрирована во многих исследованиях, проведенных в последние десятилетия в разных странах [11, 14, 15, 19, 22, 24, 29, 32]. Как и традиционные факторы риска, такие как курение и сахарный диабет, загрязнение воздуха способствует развитию заболеваний и смертности посредством развития эндотелиальной дисфункции, нарушения регуляции артериального давления, углеводного и липидного обмена и атерогенеза. Среди исследователей нет

единого мнения о том, какие возрастные группы наиболее чувствительны к загрязнению воздуха. Liu и соавторы [22] показали неоднородность эффектов кратковременного загрязнения воздуха в двух городах Китайской Народной Республики: в сильно загрязненном городе дополнительное повышение загрязнения воздуха в большей степени увеличивало госпитализацию молодых пациентов, чем пожилых, а в более чистом — наоборот. Авторы предположили, что молодые люди более уязвимы для влияния загрязнения воздуха, поскольку в среднем они больше времени находятся на открытом воздухе, особенно если работают в строительной отрасли. В то же время пожилые люди, живущие в сильно загрязненном городе, активнее предпринимают защитные меры, сокращая свое пребывание вне дома и надевая маски. В более чистом городе пожилые люди в меньшей степени используют меры предосторожности, что, как считают авторы, может объяснить более выраженное влияние кратковременного загрязнения воздуха на пожилых пациентов в этом городе. Thurston и соавторы [28], анализируя влияние загрязнения воздуха мелкодисперсными взвешенными частицами с диаметром менее 2.5 мкм (particulate matter PM_{2.5}) на смертность от ССЗ, не выявили значимых различий между группами мужчин и женщин в возрасте 50–65 и 65–71 год в когорте National Institutions of Health-AARP (США). Напротив, Cesaroni и соавторы [13] обнаружили, что люди в возрасте до 60 лет (особенно мужчины) имеют более высокий риск развития или обострения заболеваний системы кровообращения вследствие загрязнения воздуха, Fischer и соавторы [16] показали, что это проявляется в возрастной группе до 65 лет. При этом Gouveia и Fletcher [17], а также Wong и соавторы [30] выявили, что влияние загрязнения воздуха на смертность увеличивается с возрастом, особенно после 65 лет. В исследовании Hart и соавторов [18] было показано, что люди старше 70 лет (особенно женщины) более чувствительны к загрязнению воздуха. Naess и соавторы [23] обнаружили, что у людей в возрасте 51–70 лет влияние загрязнения сильнее, чем у пожилых людей, но в то же время порог повышения риска для них выше.

Необходимо отметить, что, несмотря на достаточно большое количество исследований, направленных на анализ влияния загрязнения атмосферного воздуха на смертность населения, в большинстве из них анализируются только две группы (до 60–70 лет и старше), а анализ чувствительности к загрязнению самой молодой возрастной подгруппы взрослых (20–44 года) обычно не проводится.

Наши результаты показывают, что влияние длительного загрязнения воздуха на смертность от ССЗ значимо во всех возрастных подгруппах, включая группу 20–44 года.

По данным ВОЗ [33], из всех факторов загрязнения атмосферного воздуха наибольшее влияние на смертность от ССЗ оказывает загрязнение мелкодисперсными взвешенными частицами PM_{2.5}.

Хотя в большинстве городов РФ загрязнение взвешенными частицами (ВЧ) контролируется без учета их размеров, но, поскольку, по данным канадских исследователей [12], в атмосферном воздухе PM_{2.5} составляют около 22 % всех взвешенных частиц, оценка концентрации ВЧ позволяет судить и о степени загрязнения мелкодисперсными частицами. При этом необходимо отметить, что отсутствуют данные о предельно допустимых концентрациях PM_{2.5}, превышение которых положительно ассоциируется с общей смертностью и смертностью от ССЗ [21]. Наше исследование показало, что загрязнение взвешенными частицами значительно выше (высоко значимо) в «грязных» городах, поэтому логично предположить, что загрязнение PM_{2.5} там также выше.

Помимо загрязнения ВЧ во всех «грязных» городах значимо выше концентрации бенз(а)пирена, который является одним из самых токсичных контролируемых загрязняющих воздух веществ. Бенз(а)пирен — один из полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), его высокие концентрации в атмосферном воздухе обычно свидетельствуют и о существенном загрязнении другими ПАУ, основными источниками которых являются предприятия энергетического комплекса, химической и нефтеперерабатывающей промышленности, а также автомобильный транспорт. Эпидемиологические и экспериментальные исследования убедительно свидетельствуют о том, что ПАУ, прикрепленные к взвешенным частицам, могут индуцировать ССЗ, включая гипертонию, атеросклероз и инфаркт миокарда [11, 19]. Важно, что загрязнение ПАУ и взвешенными частицами влияет даже на молодых и здоровых взрослых. Двойное перекрестное исследование, проведенное в США, показало, что дизельные выхлопы (значительная часть которых — ПАУ) повышают систолическое артериальное давление у практических здоровых лиц [14]. Недавние исследования Роре и соавторов [24] показали, что высокие концентрации PM_{2.5} могут вызывать повреждение эндотелия у молодых здоровых взрослых. Воспалительные процессы в клетках эндотелия сосудов и легких считаются связующим звеном между воздействием мелкодисперсных взвешенных веществ и ССЗ [15, 20, 29]. Окислительный стресс занимает центральное место в этих процессах. Активные формы кислорода могут генерироваться непосредственно частицами и компонентами частиц или, более опосредованно, через различные метаболические и воспалительные процессы. Более того, Роре и соавторы [25] показали, что повышенный риск смерти от ССЗ, связанный с PM_{2.5}, аналогичен у пациентов с уже существующими сердечно-сосудистыми заболеваниями и без них. Возможно, столь значительное влияние PM_{2.5} и ПАУ на систему кровообращения людей всех возрастов, в том числе молодежи и людей без ранее существовавших ССЗ, объясняет выраженную зависимость смертности от ССЗ во всех возрастных группах, в том числе и молодежи, от загрязнения атмосферного воздуха. Это

особенно важно в условиях, когда ССЗ являются ведущими причинами смертности, на долю которых приходится более 30 % глобальной смертности [31].

Кроме того, поскольку многим тысячам людей приходится жить в промышленных городах с высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха, необходимо разрабатывать профилактические меры по снижению его негативного воздействия на здоровье. Исследования, проведенные различными группами ученых, показали, что окислительный стресс является центральным элементом связи между загрязнением воздуха и ростом заболеваемости и смертности, поэтому антиоксидантная терапия может быть частью таких мер [26, 27].

Проведенное исследование имеет свои ограничения. Это прежде всего небольшой временной интервал, в течение которого анализировались смертность и загрязнение окружающей среды в городах РФ. Мы не смогли включить в анализ более длительный временной интервал из-за существенных различий в экономических и экологических условиях в стране в предыдущие годы по сравнению с последними десятилетиями. Еще одно ограничение данного исследования касается использования информации о причинах смерти, содержащейся в свидетельствах о смерти. Государственная служба статистики собирает данные только о первоначальных причинах смерти, которые не всегда могут быть определены однозначно, особенно в старших возрастных группах.

Заключение

Таким образом, проведенное исследование показало, что в наибольшей степени загрязнение атмосферного воздуха влияет на смертность от ССЗ и это влияние проявляется во всех возрастных группах. Влияние на смертность от болезней органов дыхания и онкологических заболеваний значимо, но существенно менее выражено.

Поскольку ССЗ — наиболее частая причина смерти в России, при этом многие тысячи людей вынуждены жить в промышленных городах с высоким уровнем загрязнения воздуха, необходимы не только мероприятия по снижению загрязнения в таких городах, но и разработка методик для раннего выявления патологических изменений в сердечно-сосудистой системе.

Полученные результаты указывают на необходимость проведения в городах с высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха дополнительных диспансерных обследований во всех возрастных группах, начиная с молодого возраста, направленных на выявление и оценку факторов риска развития болезней системы кровообращения.

Авторство

Концепция и дизайн исследования — Салтыкова М. М., Бобровницкий И. П.; анализ и интерпретация данных — Салтыкова М. М., Балакаева А. В., Шопина О. В., Бобровницкий И. П.; написание и редактирование текста — Салтыкова М. М., Балакаева А. В., Шопина О. В.,

Бобровницкий И. П.; окончательное утверждение — Салтыкова М. М., Балакаева А. В., Шопина О. В., Бобровницкий И. П.

Салтыкова Марина Михайловна — ORCID 0000-0002-1823-8952; SPIN 3310-9270

Бобровницкий Игорь Петрович — ORCID 0000-0002-1805-4010

Балакаева Алиса Викторовна — ORCID 0000-0003-4217-4300

Шопина Ольга Владимировна — ORCID 0000-0001-7094-7230

Список литературы / References

1. Андреев Е. М., Школьников В. М. Связь между уровнями смертности и экономического развития в России и ее регионах // Демографическое обозрение. 2018. Т. 5, № 1. С. 6–24.

Andreev E. M., Shkolnikov V. M. The relationship between mortality and economic development in Russia and its regions. *Demographicheskoe obozrenie* [Demographic survey]. 2018, 5 (1), pp. 6–24. [In Russian]

2. База данных показателей муниципальных образований. URL: <https://www.gks.ru/dbscripts/munst> (дата обращения: 1.06.2020).

Database of indicators of municipalities. Available at: <https://www.gks.ru/dbscripts/munst> (accessed: 1.06.2020). [In Russian]

3. Величина прожиточного минимума. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/30957> (дата обращения: 1.06.2020).

The subsistence minimum. Available at: <https://www.fedstat.ru/indicator/30957> (accessed: 1.06.2020). [In Russian]

4. Золотокрылин А. Н., Кренке А. Н., Виноградова В. В. Районирование России по природным условиям жизни населения. М.: Геос, 2012. 156 с.

Zolotokrylin A. N., Krenke A. N., Vinogradova V. V. *Zoning of Russia according to the natural conditions of life of the population*. Moscow, Geos Publ., 2012, 156 p. [In Russian]

5. Лисецкая Л. Г., Дедкова Л. А., Тихонова И. В., Тараненко Н. А. Оценка степени загрязненности воздуха и патология верхних дыхательных путей у подростков урбанизированных территорий Иркутской области // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 2013. № 3 (91). Ч. 1. С. 91–95.

Lisetskaya L. G., Dedkova L. A., Tikhonova I. V., Taranenko N. A. Degree assessment of pollution and pathology of upper respiratory tract in teenagers of urbanized territories of Irkutsk region. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra Sibirskogo otdeleniya Rossiiskoi akademii meditsinskikh nauk* [Eastern-Siberian Scientific Centre of Human Ecology SB RAMS]. 2013, 3 (91), pt. 1, pp. 91–95. [In Russian]

6. Салтыкова М. М., Бобровницкий И. П., Федичкина Т. П., Балакаева А. В., Яковлев М. Ю. Влияние загрязнения атмосферного воздуха на структуру смертности населения // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 6. С. 96–100.

Saltykova M. M., Bobrovnikskii I. P., Fedichkina T. P., Balakaeva A. V., Yakovlev M. Yu. Impact of ambient air pollution on the mortality structure. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* [International Journal of Applied and Fundamental Research]. 2019, 6, pp. 96–100. [In Russian]

7. Тоцилкина Н. В. Оценка влияния индекса загрязнения атмосферы на медико-демографические показатели жителей города Саратова // Самарский научный вестник. 2016. № 4. С. 65–70.

Tochilkina N. V. Estimation of air pollution influence on demographic and health of the population of Saratov. *Samarsky nauchnyy vestnik* [Samara Scientific Bulletin]. 2016, 4, pp. 65-70. [In Russian]

8. ФГБУ «ГГО» Росгидромета. Ежегодник. Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2013. СПб., 2014. 275 с.

FSBI «GGO» Roshydromet. *Yearbook. The state of air pollution in cities on the territory of Russia for 2013*. Saint Petersburg, 2014, 275 p. [In Russian]

9. ФГБУ «ГГО» Росгидромета. Ежегодник. Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2016. СПб., 2017. 227 с.

FSBI «GGO» Roshydromet. *Yearbook. The state of air pollution in cities on the territory of Russia for 2016*. Saint Petersburg, 2017, 222 p. [In Russian]

10. ФГБУ «ГГО» Росгидромета. Ежегодник. Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2017. СПб., 2018. 234 с.

FSBI «GGO» Roshydromet. *Yearbook. The state of air pollution in cities in Russia in 2017*. Saint Petersburg, 2018, 234 p. [In Russian]

11. Asweto C. O. Cardiovascular health risk posed by polycyclic aromatic hydrocarbon and ultrafine particles. *J Clin Exp Tox*. 2018, 2 (1), pp. 1-5. doi: 10.4066/2630-4570.009.

12. Brook J. R., Tom F., Dann T. F., Burnett R. T. The Relationship among TSP, PM₁₀, PM_{2.5}, and Inorganic Constituents of Atmospheric Particulate Matter at Multiple Canadian Locations. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 1997, 47 (1), pp. 2-19. doi: 10.1080/10473289.1997.10464407.

13. Cesaroni G., Badaloni C., Gariazzo C., Stafoggia M., Sozzi R., Davoli M., Forastiere F. Long-Term Exposure to Urban Air Pollution and Mortality in a Cohort of More than a Million Adults in Rome. *Environ. Health Perspect.* 2013, 121 (3), pp. 324-331. doi: 10.1289/ehp.1205862.

14. Cosselman K., Krishnan R., Oron A., Jansen K., Peretz A., Sullivan J., Larson T. V., Kaufman J. D. Blood Pressure Response to Controlled Diesel Exhaust Exposure in Human Subjects. *Hypertension*. 2012, 59 (5), pp. 943-948.

15. Donaldson K., Stone V., Seaton A., MacNee W. Ambient particle inhalation and the cardiovascular system: potential mechanisms. *Environmental Health Perspectives*. 2001, 109 (suppl 4), pp. 523-527.

16. Fischer P. H., Marra M., Ameling C. B., Hoek G., Beelen R., de Hoogh K., Breugelmans O., Kruize H., Janssen N. A., Houthuijs D. Air pollution and mortality in seven million adults: The Dutch Environmental Longitudinal Study (DUELS). *Environmental Health Perspectives*. 2015, 123, pp. 697-704. doi: 10.1289/ehp.1408254.

17. Gouveia N., Fletcher T. Time series analysis of air pollution and mortality: effects by cause, age and socioeconomic status. *J Epidemiol Community Health*. 2000, 54 (10), pp. 750-755. doi: 10.1136/jech.54.10.750.

18. Hart J. E., Puett R. C., Rexrode K. M., Albert C. M., Laden F. Effect Modification of Long-Term Air Pollution Exposures and the Risk of Incident Cardiovascular Disease in US Women. *J Am Heart Assoc*. 2015, 4 (12), e002301. doi: 10.1161/JAHA.115.002301.

19. Holme J., Brinckmann B., Refsnes M., Låg M., Ovreivik J. Potential role of polycyclic aromatic hydrocarbons as mediators of cardiovascular effects from combustion particles.

Environmental Health. 2019, 18, p. 74. doi: 10.1186/s12940-019-0514-2.

20. Hu C., Hou J., Zhou Y., Sun H., Yin W., Zhang Y., Wang X., Wang G., Chen W., Yuan J. Association of polycyclic aromatic hydrocarbons exposure with atherosclerotic cardiovascular disease risk: A role of mean platelet volume or club cell secretory protein. *Environmental Pollution*. 2018, 233, pp. 45-53.

21. Liu Z., Wang F., Li W., Yin L., Wang Y., Yan R., Qian Lao X., Kan H., Tse L. A. Does Utilizing WHO's Interim Targets Further Reduce the Risk - Meta-Analysis on ambient particulate matter pollution and mortality of cardiovascular diseases? *Environmental Pollution*. 2018, 242, pp. 1299-1307. doi: 10.1016/j.envpol.2018.07.041.

22. Liu Y., Sun J., Gou Y., Sun X., Zhang D., Xue F. Analysis of Short-Term Effects of Air Pollution on Cardiovascular Disease Using Bayesian Spatio-Temporal Models. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020, 17, p. 879. doi: 10.3390/ijerph17030879.

23. Naess O., Nafstad P., Aamodt G., Claussen B., Rosland P. Relation between Concentration of Air Pollution and Cause-Specific Mortality: Four-Year Exposures to Nitrogen Dioxide and Particulate Matter Pollutants in 470 Neighborhoods in Oslo, Norway. *Am J Epidemiol*. 2007, 165 (4), pp. 435-443. doi: 10.1093/aje/kwk016.

24. Pope C., Bhatnagar A., McCracken J., Abplanalp W., Conklin D., O'Toole T. Exposure to Fine Particulate Air Pollution Is Associated With Endothelial Injury and Systemic Inflammation. *Circ Res*. 2016, 119 (11), pp. 1204-1214.

25. Pope C., Turner M., Burnett R., Jerrett M., Gapstur S., Diver W., Krewski D., Brook R. D. Relationships between Fine Particulate Air Pollution, Cardiometabolic Disorders, and Cardiovascular Mortality. *Circ Res*. 2015, 116 (1), pp. 108-115. doi: 10.1161/circresaha.116.305060.

26. Romieu I., Castro-Giner F., Kunzli N., Sunyer J. Air pollution, oxidative stress and dietary supplementation: a review. *European Respiratory Journal*. 2008, 31, pp. 179-196. doi: 10.1183/09031936.00128106.

27. Schulz A. J., Mentz G. B., Sampson N. R., Dvornich J. T., Reyes A. G., Betty Izumi B. Effects of Particulate Matter and Antioxidant Dietary Intake on Blood Pressure. *Am J Public Health*. 2015, 105, pp. 1254-1261. doi:10.2105/AJPH.2014.302176.

28. Thurston G. D., Ahn J., Cromar K. R., Shao Y., Reynolds H. R., Jerrett M., Lim C. C., Shanley R., Park Y., Hayes R. B. Ambient particulate matter air pollution exposure and mortality in the NIH-AARP Diet and Health cohort. *Environ Health Perspect.* 2016, 124, pp. 484-490. doi: 10.1289/ehp.1509676.

29. Tornqvist H., Mills N., Gonzalez M., Miller M., Robinson S., Megson I., Macnee W., Donaldson K., Soderberg S., Newby D. E., Sandstrom T., Blomberg A. Persistent Endothelial Dysfunction in Humans after Diesel Exhaust Inhalation. *Am J Respir Crit Care Med*. 2007, 176 (4), pp. 395-400.

30. Wong C. M., Lai H. K., Tsang H., Thach T. Q., Thomas G. N., Lam K. B., Chan K. P., Yang L., Lau A. K., Ayres J. G., Lee S. Y., Chan W. M., Hedley A. J., Lam T. H. Satellite-based estimates of long-term exposure to fine particles and association with mortality in elderly Hong Kong residents. *Environ Health Perspect.* 2015, 123 (11), pp. 1167-1172. doi: 10.1289/ehp.1408264.

31. World Health Organization. Cardiovascular Diseases. Available at: <https://www.who.int/health-topics/cardiovascular-diseases/> (accessed: 01.02.2021).

32. Cohen A. J., Brauer M., Burnett R., Anderson H. R., Frostad J., Estep K., Balakrishnan K., Brunekreef B., Dandona L., Dandona R., Feigin V., Freedman G., Hubbell B., Jobling A., Kan H., Knibbs L., Liu Y., Martin R., Morawska L., Pope C. A., Shin H., Straif K., Shaddick G., Thomas M., van Dingenen R., van Donkelaar A., Vos T., Murray C. J. L., Forouzanfar M. H. 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), pp. 1907-1918. doi: 10.1016/S0140-6736(17)30505-6.

33. World Health Organization. Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease.

2016. ISBN: 9789241511353. Available at: <https://www.who.int/phe/publications/air-pollution-global-assessment/en> (accessed: 01.10.2020).

Контактная информация:

Балакаева Алиса Викторовна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Лаборатории экологии человека и общественного здоровья ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Федерального медико-биологического агентства

Адрес: 119121, г. Москва, ул. Погодинская, д. 10, с. 1
E-mail: ABalakaeva@cspmz.ru