

УДК 614.7

ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА СТРУКТУРУ СМЕРТНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ

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

*ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками
здоровью» Министерства здравоохранения Российской Федерации,
Москва, e-mail: marinams2002@mail.ru*

В статье представлен обзор современных данных литературы, посвященный влиянию загрязнения атмосферного воздуха на структуру смертности населения. Показано, что наибольший вклад загрязнение дает в смертность от инсульта, ишемической болезни сердца, хронической обструктивной болезни легких и рака легкого. В Российской Федерации наиболее загрязненными являются города азиатской части России, где влияние загрязнения воздуха большими объемами промышленных выбросов и выбросов от транспорта усиливается неблагоприятными метеорологическими условиями, препятствующими рассеиванию загрязняющих веществ в атмосфере. Наибольшая смертность населения также регистрируется в азиатской части России. В целом для РФ характерны выраженные межрегиональные различия в смертности населения, которые обусловлены в значительной степени социо-экономическими причинами, в том числе низким уровнем жизни значительных групп населения даже в регионах с высокими показателями среднедушевого потребления. Однако существенный вклад дают, видимо, и такие характерные для всех стран причины, как загрязнение окружающей среды и неблагоприятные климатические условия. В связи с этим снижение загрязнения окружающего воздуха, особенно в регионах азиатской части РФ, является одним из эффективных путей повышения продолжительности жизни в России.

Ключевые слова: загрязнение атмосферного воздуха, экология человека, демография, смертность населения, причины смерти

IMPACT OF AMBIENT AIR POLLUTION ON THE MORTALITY STRUCTURE

Saltykova M.M., Bobrovniksky I.P., Fedichkina T.P., Balakaeva A.V., Yakovlev M.Yu.
Centre for Strategic Planning, Russian Ministry of Health, Moscow, e-mail: marinams2002@mail.ru

The article presents a review of modern literary data on the effects of air pollution on the structure of mortality. It has been shown that air pollution strongly impact mortality from stroke, coronary heart disease, chronic obstructive pulmonary disease and lung cancer. In the Russian Federation the most polluted cities are located in the Asian part of Russia, where the impact of air pollution from large volumes of industrial emissions and emissions from transport are aggravated by adverse meteorological conditions that prevent dispersion of pollutants in the atmosphere. The highest mortality is also recorded in the Asian part of Russia. In general, the Russian Federation is characterized by pronounced interregional differences in population mortality, which are largely due to socio-economic reasons, including the low standard of living of significant groups of the population even in the regions with high average per capita consumption. However, such significant factors for all countries as environmental pollution and adverse climatic conditions, apparently make a significant contribution. In this regard, the reduction of air pollution, especially in the regions of the Asian part of the Russian Federation, is one of the effective ways to increase life expectancy in Russia.

Keywords: air pollution, human ecology, demography, population mortality, causes of death

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) воздействие загрязняющих воздух веществ является одним из ведущих факторов риска неинфекционных заболеваний (НИЗ) [1]. НИЗ являются основной причиной смерти более чем в 60% [2]. При этом 92% населения земного шара проживает в регионах, где качество атмосферного воздуха не соответствует стандартам ВОЗ [1] и ежегодно в мире регистрируется более 4 млн преждевременных смертей, обусловленных загрязнением воздуха, т.е. 7,6% всей смертности в мире, с тенденцией роста [1, 3–5].

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 – REVINAAP) 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 [6]. Проведенные эпидемиологические исследования показали, что снижение загрязнения воздуха в городах является одним из эффективных средств профилактики хронических неинфекционных болезней [7].

Основными загрязняющими веществами, рекомендованными ВОЗ для обяза-

тельного контроля, являются взвешенные частицы (particulate matter (PM)), озон, диоксид серы, оксиды азота, оксид углерода, сумма углеводородных соединений, метан и безметановые углеводороды. При этом загрязнение воздуха мелкодисперсными PM является пятым среди основных факторов риска смертности в мире [4]. С использованием математических моделей было установлено, что в 2015 г. загрязнение воздуха этими частицами способствовало 40,3% всех смертей от инсульта, 26,8% – ишемической болезни сердца, 23,9% – рака легкого, 18,7% – хронической обструктивной болезни легких [5]. Взвешенные частицы – это все частицы малого размера, содержащиеся в воздухе в виде аэрозоля. Их химический состав зависит от многочисленных факторов: источников происхождения, географических и метеорологических условий. Обычно PM включают в себя неорганические компоненты, органический углерод, а также такие биологические компоненты, как пыльцу растений, споры, бактерии. Наиболее опасны для здоровья человека мелкодисперсные частицы размером менее 2,5 мкм (PM_{2,5}), которые могут достигать терминальных бронхиол и альвеол, и ультрамелкодисперсные частицы (PM_{0,1}) размером частиц менее 0,1 мкм (включая наночастицы (<100 нм)), которые могут проникать в кровоток [1, 8, 9]. Помимо размеров, взвешенные частицы классифицируют в зависимости от глубины их проникновения в организм. Выделяют 1) вдыхаемые частицы (inhalable particles), которые могут выводиться ресничками эпителия и обычно не проникают дальше бронхов; 2) торакальные частицы (thoracic particles) – могут достигать терминальных бронхиол и накапливаться в легких; 3) респираторные частицы (respirable particles) – попадают в кровоток из альвеол. Таким образом, взвешенные частицы могут депонироваться в различных органах и тканях организма и оказывать влияние как на органы дыхания, так и на сосудистую систему, влияя в первую очередь на эндотелиальную функцию.

Эксперты ВОЗ показали, что не существует предельно допустимых концентраций PM, ниже которых отсутствует опасность негативного воздействия на здоровье. В связи с этим ВОЗ рекомендует стремиться к достижению минимальных концентраций взвешенных частиц. В качестве ориентировочных значений предлагается рассматривать следующие среднегодовые величины: 10 мкг/м³ (для PM_{2,5}) и 20 мкг/м³ (для PM₁₀) и соответствующие среднесуточные 25 мкг/м³ и 50 мкг/м³ [1].

По данным проекта Aphekom 2008–2011, полученным в 12 европейских странах, загрязнение взвешенными частицами сокращает среднюю продолжительность жизни почти на 9 месяцев. В некоторых наиболее загрязненных городах Южной и Восточной Европы продолжительность жизни может быть увеличена приблизительно на 20 месяцев, если концентрация PM_{2,5} будет снижена до уровней, рекомендованных ВОЗ [8].

По данным ВОЗ [1] наибольший вклад (72%) загрязнение воздуха взвешенными частицами вносит в смертность от инсульта и ишемической болезни сердца: по 36% от всего количества смертей, обусловленных загрязнением. Смертность от рака легкого составляет 14%, от хронической обструктивной болезни легких – 8%. В исследованиях, проведенных в разных регионах мира [10–12], было показано, что высокие концентрации PM_{2,5} могут индуцировать развитие артериальной гипертензии, что является одним из главных факторов риска сердечно-сосудистой смертности. Lin H. с соавторами [10] при анализе данных более 12,5 тысяч 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.

H. Scheers и соавт. [9] провели метаанализ результатов рандомизированных контролируемых исследований, проведенных за последнее десятилетие, и показали что длительное воздействие воздуха, загрязненного взвешенными частицами, является фактором риска инсульта: для PM₁₀ относительный риск составляет 2,61 (95% ДИ: 1,13–6,00) и для PM_{2,5} – 3,20 (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 [12, 13].

Вместе с тем влияние кратковременного загрязнения атмосферного воздуха PM на смертность населения в литературе оценивается не столь однозначно. Так Madsen С. с соавторами [14], анализируя ежедневные данные загрязнения воздуха в Осло (Норвегия) взвешенными веществами (PM_{2,5}) и смертность от болезней системы кровообращения, выявили увеличение риска смерти в 2,8 раза (95% ДИ: 1,2–4,4) при кратковременном увеличении среднесуточной концентрации загрязняющих веществ на 10 мкг/м³. Xu и соавт. [15] также выявили значимую связь между количеством госпи-

тализаций по поводу ишемической болезни сердца и кратковременным воздействием высоких концентраций PM10 и PM2,5 в Шанхае (Китай). Напротив, Stafoggia M. и соавт. [16], анализируя данные о ежедневной смертности от болезней системы кровообращения, погодных условий и загрязнения воздуха взвешенными частицами, не выявили значимой зависимости ежедневного количества смертей в городах Финляндии, Швеции, Германии, Италии, Греции, Дании и Испании от уровня загрязнения воздуха PM. Различия в результатах, полученных при анализе влияния кратковременного увеличения загрязнения, могут быть обусловлены как различиями в величине исходного уровня загрязнения, состава загрязняющих веществ, так и особенностями погодных условий в дни с высоким загрязнением. Кроме того, некоторые авторы [17], анализируя влияние снижения загрязнения воздуха на смертность населения и делая выводы о переоценке значимости влияния загрязнения, не учитывают тот факт, что хроническое загрязнение в предшествовавшие годы уже в значительной степени подорвало здоровье той части населения, которая наиболее чувствительна к нему (пожилые люди с болезнями системы кровообращения), и кратковременное улучшение экологической ситуации не может обеспечить быстрое восстановление здоровья.

В Российской Федерации наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха проводятся Федеральной службой России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) в 244 городах на 672 станциях [18]. Для оценки качества воздуха используются такие показатели, как ИЗА – комплексный индекс загрязнения атмосферы, учитывающий среднегодовые концентрации нескольких примесей; СИ (стандартный индекс) – наибольшая измеренная разовая концентрация примеси, деленная на предельно допустимые концентрации (ПДК); НП – наибольшая повторяемость (в %) превышения ПДК по данным наблюдений за одной примесью на всех станциях города за год. Уровень загрязнения атмосферного воздуха считается повышенным при ИЗА от 5 до 6, СИ менее 5, НП менее 20%; высоким при ИЗА от 7 до 13, СИ от 5 до 10, НП от 20 до 50% и очень высоким при ИЗА равном или больше 14, СИ более 10, НП более 50%.

По данным Росстата и Росприроднадзора в последние годы происходит рост общего объема поступления вредных веществ от всех источников загрязнения атмосферы [18]. Так, в 2016 г. общий объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу вы-

рос на 1,1% по сравнению с 2015 г., в том числе от железнодорожного транспорта на 5,7%, от автотранспорта на 2,1% и стационарных источников на 0,3%. Основная масса выбросов от стационарных источников зарегистрирована в городах. При этом в 139 городах (более 52,9 миллионов человек; 57% городов, где проводятся наблюдения) среднегодовая концентрация хотя бы одного из загрязняющих воздух веществ превышает предельно допустимые концентрации. В городах с высоким и очень высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха проживает 12% городского населения России (13,5 млн человек). Города с наиболее высоким уровнем загрязнения воздуха включены в Приоритетный список (21 город с населением более 5 миллионов человек). Все города этого списка расположены в азиатской части территории России, которая характеризуется особо неблагоприятными для рассеивания примесей климатическими условиями. Положение Сибирского антициклона очень устойчиво в течение холодного периода года и характеризуется лишь небольшими смещениями в западные, северные и северо-восточные районы Монголии, что препятствует рассеиванию загрязняющих веществ. Кроме того, погодные условия в течение остальной части года часто сопровождаются мощными приземными инверсиями, застоями воздуха и туманами, которые также приводят к накоплению примесей у поверхности земли, что, в частности, обуславливает очень высокий уровень загрязнения воздуха городов [19]. Средние и максимальные концентрации бенз(а)пирена в азиатской части России в шесть раз выше, чем в европейской, а средние из максимальных концентраций оксида азота выше на 91%; диоксида азота, взвешенных веществ, диоксида серы и формальдегида – на 37–60%.

В городах 22 субъектов РФ максимальная концентрация хотя бы одного вещества превышает 10 ПДК (СИ > 10). При этом в Иркутской области таких городов 8, в Бурятии, в Забайкальском крае, в Кемеровской, Сахалинской и Челябинской областях – по 2, в Красноярском крае – 5 [18].

При этом по данным демографических исследований [20, 21] повышенная смертность также регистрируется в азиатской части России, прежде всего в регионах Сибири и Дальнего Востока. В среднем смертность увеличивается при продвижении с юга на север (в европейской части России) и с запада на восток. Это характерно как для общей смертности, так и для стратифицированной по возрасту и причине смерти: по-

ниженная смертность наблюдается в регионах юга России, повышенная – в регионах Восточной Сибири и Дальнего Востока.

В целом большая межрегиональная вариабельность является одной из особенностей смертности в России [22]. Например, смертность в Тверской области более чем в 2 раза выше, чем в Москве. При этом максимальная смертность населения отмечается в регионах Дальнего Востока (кроме Республики Саха), юга Восточной Сибири, а также Псковской, Новгородской и Тверской областях. Самый высокий показатель смертности среди мужского населения в возрасте 40–59 лет в 2012 г. зарегистрирован в Еврейской автономной области (АО) (2273 на 100 тыс.), самый низкий в Республике Ингушетия (529 на 100 тыс.). Показатель смертности в Еврейской АО более чем в 4 раза выше, чем в Республике Ингушетия, и в 2,6 раза выше, чем в Москве (866 на 100 тыс.) [23].

Необходимо отметить, что во всех регионах-аутсайдерах особенно высока смертность взрослого населения в возрасте до 50 лет, и именно данный показатель обуславливает высокие межрегиональные различия [24]. При этом ожидаемая продолжительность жизни при рождении различается в регионах Российской Федерации от 63,1 года в республике Тыва до 80,1 года в республике Ингушетия, т.е. на 17 лет. Вместе с тем различия между странами Европы существенно меньше и составляют 11 лет (73,5 года – ожидаемая продолжительность жизни в Северо-Западном регионе Болгарии и 84,5 года – в автономной общине Мадрид).

Столь выраженные межрегиональные различия в России обусловлены прежде всего социо-экономическими причинами, в том числе низким уровнем жизни значительных групп населения даже в регионах с высокими показателями среднестатистического потребления [25]. Но существенный вклад дают, видимо, и такие характерные для всех стран [1] причины, как загрязнение окружающей среды и суровые климатические условия.

Несмотря на некоторое снижение в последние годы, смертность в современной России много выше, чем в европейских странах, но вместе с тем, по мнению большинства исследователей, имеются значительные резервы для дальнейшего роста продолжительности жизни [26, 27]. При этом уменьшение загрязнения окружающего воздуха, особенно в регионах азиатской части РФ, является одним из эффективных путей повышения продолжительности жизни в России.

Список литературы

1. World Health Organization. Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease. 2016. [Electronic resource]. URL: <https://www.who.int/phe/publications/air-pollution-global-assessment/en> (date of access: 15.04.2019).
2. World Health Organization. Global Status Report on Noncommunicable Diseases (2014). [Electronic resource]. URL: <https://www.who.int/nmh/publications/ncd-status-report-2014/en> (date of access: 15.04.2019).
3. 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. vol. 389. no. 10082. P. 1907–1918.
4. 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. vol. 525. P. 367–371.
5. Song C., He J., Wu L., Jin T., Chen X., Li R., Ren P., Zhang L., Mao H. Health burden attributable to ambient PM_{2.5} in China. *Environ. Pollut.* 2017. vol. 223. P. 575–586.
6. Heroux M.E., Braubach M., Korol N., Krzyzanowski M., Paunovic E., Zastenskaya I. Основные выводы о медицинских аспектах загрязнения воздуха: Проекты REVINAAP и HRAPIE ВОЗ/ЕК // Гигиена и санитария. 2013. № 6. С. 9–14.
7. Hao Y., Zhang G., Han B., Xu X., Feng N., Li Y., Wang W. Prospective evaluation of respiratory health benefits from reduced exposure to airborne particulate matter. *Int. J. Environ. Health Res.* 2017. vol. 27. no. 2. P.126–135.
8. Medina S. Summary report of the Aphekom project 2008–2011. Aphekom; 2012. [Electronic resource]. URL: <http://www.endseurope.com/docs/110302b.pdf> (date of access: 15.04.2019).
9. 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. vol. 46. P. 3058–3066.
10. 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. vol. 69. no. 5. P. 806–812.
11. 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. vol. 584–585. P. 1077–1083. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.01.166.
12. Табакаев М.В., Аргамонова Г.В. Влияние загрязнения атмосферного воздуха взвешенными веществами на распространенность сердечно-сосудистых заболеваний среди городского населения // Вестник ПАМН. 2014. № 3–4. С. 55–60.
13. Stone V., Miller M.R., Clift M.J.D., Elder A., Mills N.L., Moller P., Schins R.P.F., Vogel U., Kreyling W.G., Alstrup Jensen K., Kuhlbusch T.A.J., Schwarze P.E., Hoet P., Pietroiusti A., De VizcayaRuiz A., Baeza-Squiban A., Teixeira J.P., Tran C. L., Cassee F.R. Nanomaterials vs Ambient Ultrafine Particles: an Opportunity to Exchange Toxicology Knowledge. *Environ. Health Perspect.* 2016. DOI: 10.1289/EHP424.
14. Madsen C., Rosland P., Hoff D.A., Nystad W., Nafstad P., Naess O.E. The short-term effect of 24h average and peak air pollution on mortality in Oslo, Norway. *Eur. J. Epidemiol.* 2012. vol. 27. no. 9. P. 717–727.
15. Xu A., Mu Z., Jiang B., Wang W., Yu H., Zhang L., Li J. Acute Effects of Particulate Air Pollution on Ischemic Heart Disease Hospitalizations in Shanghai, China. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2017. vol. 4. no. 2. Pii: E168. DOI: 10.3390/ijerph14020168.

16. Stafoggia M., Schneider A., Cyrus J., Samoli E., Andersson Z.J., Bedada G. B., Bellander T., Cattani G., Eleftheriadis K., Faustini A., Hoffmann B., Jacquemin B., Katsouyanni K., Massling A., Pekkanen J., Perez N. Association Between Short-term Exposure to Ultrafine Particles and Mortality in Eight European Urban Areas. *Epidemiology*. 2017. vol. 28. no 2. P. 172–180.
17. Giannini S., Vaccini M., Randi G., Bonafè G., Lauriola P., Ranzi A.S. Estimating deaths attributable to airborne particles: sensitivity of the results to different exposure assessment approaches. *Environ. Health*. 2017. vol. 16. no. 1. P. 13.
18. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году». М.: Минприроды России; НИИ-Природа, 2017. 760 с.
19. ФГБУ «ГГО» Росгидромета. Ежегодник. Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2017 г. СПб., 2018. 334 с.
20. Андреев Е.М., Кваша Е.А., Харькова Т.Л. Смертность и продолжительность жизни в России – что нового? Статья вторая // *Демоскоп Weekly*. 2016. № 685–686.
21. Данилова И.А. Региональный анализ смертности по причинам смерти в России: дис. ... канд. социол. наук. Москва, 2018. 200 с.
22. Бойцов С.А., Деев А.Д., Шальнова С.А. Смертность и факторы риска развития неинфекционных заболеваний в России: особенности, динамика, прогноз // *Терапевтический архив*. 2017. № 1. С. 5–13.
23. Бойцов С.А., Самородская И.В., Третьяков В.В. Градиент смертности населения в возрасте 40–59 лет в субъектах Российской Федерации // *Вестник РАМН*. 2014. № 7–8. С. 106–111.
24. Хасанова Р.Р., Макаренцева А.О. Смертность и продолжительность жизни населения России. ФГБОУ ВПО РАНХиГС при Президенте Российской Федерации. М., 2017. 87 с.
25. 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.
26. Разумов А.Н., Матюхин В.А. Основные аспекты методологии проведения оценки уровня здоровья человека в условиях неблагоприятного радиационного окружения // *Russian journal of rehabilitation medicine*. 2018. № 1. С. 3–13.
27. Амбражук И.И., Яковлев М.Ю., Фесюн А.Д. Отечественный опыт в разработке стратегии развития отделений медицинской реабилитации // *Russian journal of rehabilitation medicine*. 2018. № 3. С. 42–49.