

Влияние поллютантов атмосферного воздуха на здоровье человека (обзор)

© 2023. С. В. Райкова^{1,2}, к. м. н., с. н. с., Ю. С. Гусев¹, к. б. н., с. н. с.,
С. И. Мазиллов¹, к. б. н., м. н. с., М. В. Поздняков^{1,2}, к. ф.-м. н., с. н. с.,
Н. Е. Комлева^{1,2}, д. м. н., зам. руководителя по научной работе,
А. Н. Микеров^{1,2}, д. б. н., руководитель,

¹Саратовский МНЦ гигиены ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий
управления рисками здоровью населения»,

410022, Россия, г. Саратов, ул. Заречная, д. 1А,

²ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет
имени В.И. Разумовского» Минздрава России,

410012, Россия, г. Саратов, ул. Большая Казачья, д. 112,

e-mail: matiz853@yandex.ru

Одной из глобальных проблем современного человечества является загрязнение атмосферного воздуха, которое оказывает влияние не только на изменение климатических условий среды обитания, но и вносит существенный вклад в формирование нарушений здоровья населения. В статье приведён обзор современных данных о влиянии приоритетных загрязнителей атмосферного воздуха на здоровье человека, представленных в базах данных научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU, Web of Science, Scopus и PubMed, (2017–2022 гг.). Выявлено, что наиболее исследованными загрязнителями атмосферного воздуха в контексте влияния на здоровье человека являются взвешенные частицы диаметром 2,5 мкм и менее, взвешенные частицы диаметром 10 мкм и менее, диоксид азота. Однако, в последнее время отмечается рост интереса к вопросу влияния приземного озона на состояние здоровья. Несмотря на то, что большинство работ были посвящены изучению влияния поллютантов на дыхательную и сердечно-сосудистую системы, в последние годы вектор научных интересов смещается в сторону определения возможной роли поллютантов в формировании ментальных расстройств, патологий центральной нервной и эндокринной систем, репродуктивной функции. Представлены данные о связи продолжительного воздействия диоксида азота, взвешенных частиц диаметром 2,5 мкм и менее, монооксида углерода и озона с увеличением заболеваемости и смертности от SARS-CoV-2. Установлено, что длительное воздействие поллютантов при концентрациях значительно ниже текущих современных стандартов оказывает существенное негативное влияние на здоровье как взрослого, так и детского населения, что диктует необходимость продолжения исследований в данном направлении с целью решения вопроса о возможной коррекции современных стандартов качества воздуха.

Ключевые слова: поллютанты, атмосферный воздух, здоровье человека, заболеваемость.

Effects of atmospheric air pollutants on human health (overview)

© 2023. S. V. Raikova^{1,2} ORCID: 0000-0001-5749-2382, Yu. S. Gusev¹ ORCID: 0000-0001-7379-484X,
S. I. Mazilov¹ ORCID: 0000-0002-8220-145X, M. V. Pozdnyakov^{1,2} ORCID: 0000-0002-2067-3830,
N. E. Komleva^{1,2} ORCID: 0000-0001-5360-712X, A. N. Mikerov^{1,2} ORCID: 0000-0002-0670-7918

¹Saratov Hygiene Medical Research Center of the FBSI
“FSC Medical and Preventive Health Risk Management Technologies”,
1A, Zarechnaya St., Saratov, Russia, 410022,

²Saratov State Medical University n.a. V.I. Razumovsky of Minzdrav of Russia,
112, Bolshaya Kazachya St., Saratov, Russia, 410012,

e-mail: matiz853@yandex.ru

One of modern humanity's global scourges is air pollution on account not only of its influence on climate change but also its significant impact on public health. A review of current data on the effects of priority atmospheric air pollutants on human health was carried out. The search was performed using eLIBRARY.RU, Web of Science, Scopus and PubMed, in a time span of 2017–2022. Particulate matter (with a diameter of 2.5 μm (PM_{2.5}) or less and 10 μm (PM₁₀) or less) and

nitrogen dioxide (NO₂) were the most widely investigated pollutants in the context of health effects. Recently, however, there has been growing interest in the health effects of ozone. Despite the fact that most of the works were devoted to the study of the influence of pollutants on the respiratory and cardiovascular systems, recently the vector of scientific interests shifted to determine the possible role of pollutants in the formation of mental disorders, pathologies of central nervous and endocrine systems, reproductive function. Data on the association of prolonged exposure to nitrogen dioxide, PM_{2.5}, carbon monoxide and ozone with increased morbidity and mortality from SARS-CoV-2 were provided. Prolonged exposure to concentrations well below current standards has been found to have a significant negative impact on the health of both adults and children. Further research in this area is needed to address the possible correction of modern air quality standards.

Keywords: pollutants, atmospheric air, human health, morbidity.

Одной из глобальных проблем современного человечества является загрязнение атмосферного воздуха, которое оказывает влияние не только на изменение климатических условий среды обитания, но и вносит существенный вклад в формирование нарушений здоровья населения [1, 2]. По данным ВОЗ (2019 г.), 99% мирового населения дышит загрязнённым воздухом, что ежегодно приводит к 4,2 млн случаев преждевременных смертельных исходов от ишемической болезни сердца и инсульта, хронической обструктивной болезни лёгких, острых инфекций нижних дыхательных путей, онкологических заболеваний дыхательных путей, обусловленных воздействием поллютантов, содержащихся в атмосферном воздухе [3]. С развитием урбанизации и индустриализации проблема загрязнения воздуха становится всё более серьёзной, вследствие увеличения выбросов транспортных средств, промышленных предприятий, которые являются основными источниками загрязнения атмосферного воздуха в крупных промышленных городах [4].

Одной из наименее адаптированной к негативному воздействию загрязнителей атмосферного воздуха категорией лиц является детское население [5, 6]. Основными загрязнителями воздуха являются взвешенные частицы (смесь твёрдых частиц и мелких капель, образующаяся, в основном, в результате сжигания топлива и движения транспорта); диоксид азота (NO₂), образующийся в результате движения транспорта и использования газовых плит внутри помещений; диоксид серы (SO₂), образующийся в результате сжигания ископаемых видов топлива; озон (O₃), образующийся в результате воздействия ультрафиолетовых лучей на кислород воздуха.

Последнее десятилетие ознаменовалось повышением публикационной активности по проблемам загрязнения воздуха и возможных негативных последствий для здоровья человека. Начиная с 2004 г. появился новый подход к анализу проблемы путём проведе-

ния систематических обзоров и метаанализов публикаций [7]. Наиболее активное участие в изучении данной проблемы принимают научные организации Китайской Народной Республики, США, ряда стран Западной Европы, Индии [8].

В статье представлен обзор современных литературных данных о влиянии поллютантов атмосферного воздуха на здоровье человека.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования является обзор публикаций по влиянию загрязнителей атмосферного воздуха на здоровье человека. В обзоре использованы литературные источники 2017–2022 гг. из баз данных научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU, Web of Science, Scopus и PubMed. Используются следующие поисковые термины и их комбинации: «загрязнение воздуха», «здоровье человека», «качество воздуха», «эпидемиология», «смертность», «здоровье», «риск для здоровья», «оценка риска», «воздействие на здоровье», «диоксид азота», «диоксид серы», «оксид углерода», «озон», «взвешенные частицы», «air pollution», «human health», «air quality», «epidemiology», «mortality», «health», «health risk», «risk assessment», «health effects», «exposure», «nitrogen dioxide», «sulfur dioxide», «carbon monoxide», «ozone», «particulate matter», «PM_{2.5}», «PM₁₀».

Найденную информацию анализировали и систематизировали в соответствии с заявленными разделами статьи.

Влияние загрязнения атмосферного воздуха на здоровье человека

При анализе публикаций отмечено, что большинство исследований посвящены изучению влияния поллютантов на дыхательную и сердечно-сосудистую системы. Респираторные заболевания, вызванные загрязнением воздуха, в большей степени изучены у детей,

а обзоры сердечно-сосудистых заболеваний сосредоточены на всех возрастах. Наиболее изученным загрязнителем атмосферного воздуха являются мелкие взвешенные частицы – РМ (от англ. Particulate Matter). Частицы диаметром 10 мкм и менее (PM_{10}) могут проникать и оседать глубоко в лёгких, но более опасными для здоровья являются частицы диаметром 2,5 мкм и менее ($PM_{2.5}$), которые могут проникать в лёгкие и кровеносную систему [9] и оказывать наиболее серьёзное влияние на здоровье человека [40]. Установлено, что длительное воздействие $PM_{2.5}$ сопровождается повышенной смертностью в общей популяции [11–14], у пожилых людей [15] и у больных туберкулёзом [16]. Установлена связь между длительным воздействием $PM_{2.5}$ в окружающей среде и увеличением смертности от хронической обструктивной болезни лёгких (ХОБЛ) на 12% [14, 17]. Метаанализ данных из девяти европейских стран показал статистически значимую связь между воздействием взвешенных частиц и смертностью от рака лёгких [18–21]. В ряде исследований установлена связь длительной экспозиции $PM_{2.5}$ и смертности от сердечно-сосудистой и цереброваскулярной патологии [12–14, 22, 23]. Высокие концентрации PM_{10} приводили к обострению респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний [24]. Доказано, что частота заболеваний системы кровообращения (ишемическая болезнь сердца, геморрагический инсульт, артериальная гипертензия, аритмия) увеличивается при длительном воздействии $PM_{2.5}$ окружающей среды на организм человека [25–32]. Многочисленными исследованиями подтверждена связь между воздействием взвешенных частиц и тяжестью течения, частотой обострений и скоростью прогрессирования ХОБЛ [17, 33–35].

Имеются убедительные доказательства, подтверждающие связь между воздействием загрязнённого воздуха и развитием астмы, аллергических и обструктивных заболеваний верхних дыхательных путей у детей [36–38] и взрослых [39]. Развитие и обострение течения бронхиальной астмы, нарушение вентиляционной функции лёгких может быть вызвано воздействием различных атмосферных поллютантов: NO_2 [40–45], SO_2 [46], взвешенных частиц, преимущественно $PM_{2.5}$ [47]. Доказано, что вдыхание высоких концентраций NO_2 создаёт условия для развития респираторных заболеваний, которые сопровождаются кашлем, одышкой, бронхоспазмом, отёком лёгких [40].

Длительное воздействие $PM_{2.5}$ может увеличить заболеваемость хроническими заболеваниями почек [48, 49], а у лиц с уже существующими заболеваниями приводит к увеличению смертности от почечной недостаточности [50]. Отмечен риск развития онкологических заболеваний, таких как носоглоточная карцинома [51], гепатоцеллюлярная карцинома [52]. Получены данные о корреляции между концентрациями $PM_{2.5}$ и NO_2 и обострением аллергического ринита у взрослых [53].

В последнее время пристальное внимание уделяется изучению влияния поллютантов атмосферного воздуха на психологические и социальные аспекты жизни населения. Обнаружены данные о связи длительного воздействия $PM_{2.5}$ с развитием когнитивных нарушений [54, 55], о возможных связях между воздействием $PM_{2.5}$, PM_{10} и развитием депрессии, суицидальными попытками [56–59]. Ряд исследователей пришли к выводу, что воздействие $PM_{2.5}$ связано с риском развития деменции [60–62] – одного из наиболее часто встречаемых нейродегенеративных заболеваний [63], распространённость которого значительно возросла в последние годы [64]. Также установлена связь между повышенным риском развития деменции и воздействием оксидов азота, монооксида углерода (СО) [65], а повышенная концентрация NO_2 летом ассоциировалась с ухудшением существующих депрессивных состояний [66].

В последнее время накапливается всё больше данных о роли поллютантов атмосферного воздуха в развитии эндокринных нарушений. Несмотря на то, что такие состояния, как метаболический синдром [67], дислипидемия [68], ожирение, высокий уровень глюкозы в крови натощак [67] и синдром поликистозных яичников [69] относительно мало изучены с точки зрения количества исследований, результаты последовательно подтверждают связь между данной патологией и длительным воздействием $PM_{2.5}$. Установлено, что увеличение концентраций $PM_{2.5}$ коррелирует с увеличением заболеваемости сахарным диабетом II типа [70–73].

Воздействие $PM_{2.5}$, O_3 и NO_2 во время беременности имеет ассоциации с более высоким риском преждевременных родов, низкой массой новорождённых [74–76]. Исследование, проведённое в Шанхае, показало, что воздействие загрязнителей атмосферного воздуха, в частности, повышенное содержание NO_2 , PM_{10} , SO_2 и O_3 имеет ассоциативные связи с большим процентом неблагоприятных

исходов беременности у пациенток с экстракорпоральным оплодотворением [77].

Ряд исследований, представленных в обзоре [78], выявили связь между воздействием ряда поллютантов, особенно PM_{10} , а также возникновением и прогрессированием рассеянного склероза.

В связи с глобальной пандемией новой коронавирусной инфекции COVID-19 медицинское сообщество обратило внимание на возможную связь между течением заболевания и состоянием атмосферного воздуха. Получены данные, указывающие, что длительное воздействие NO_2 может быть одним из наиболее важных факторов увеличения смертности от новой коронавирусной инфекции COVID-19 [79]. Исследование, проведённое в Лондоне, показало, что $PM_{2.5}$, CO и O_3 имеют положительную связь с увеличением числа заболеваемости и смертности от SARS-CoV-2 [80].

Одним из основных газообразных загрязнителей в Китае и других развивающихся странах является SO_2 . Приводятся данные о вкладе этого поллютанта в преждевременную смертность от ХОБЛ [81]. Выявлена связь между воздействием SO_2 и риском заболеваний дыхательной системы [82, 83], госпитализацией при ишемическом инсульте в развивающихся странах [84]. Длительное сочетанное воздействие O_3 и SO_2 связано с более высоким риском развития сахарного диабета II типа у взрослых [85].

Незначительное количество публикаций сфокусированы непосредственно на воздействии только O_3 на организм человека [86]. Показано, что кратковременное воздействие O_3 повышает риск развития трахеита, бронхита и глаукомы [86], смертельных исходов у больных ХОБЛ, артериальной гипертонией, ишемической болезнью сердца и инсультом [87]. Длительное воздействие O_3 является экологическим фактором риска развития сахарного диабета в Китае [88]. Доказано, что продолжительное воздействие O_3 может влиять на функцию лёгких у детей и лиц пожилого возраста [89].

Многоцентровое исследование данных из 337 городов в 18 странах, включая более 40 миллионов смертельных случаев и охватывающие широкий круг населения из разных регионов мира, выявило значительную связь между кратковременным воздействием CO и ежедневной смертностью [90].

Загрязнение воздуха влияет на иммунную систему и связано с аллергическим ринитом, остеопорозом, болезнью сухого глаза, блефаритом, воспалительными заболеваниями кишечника, ускорением внутрисосудистого свёртывания крови, снижением скорости клубочковой фильтрации, старением кожи [91].

Основные негативные эффекты воздействия приоритетных поллютантов на здоровье человека приведены в таблице.

Таблица / Table

Негативные эффекты воздействия основных поллютантов атмосферного воздуха на здоровье человека
Adverse effects of the main ambient air pollutants on human health

Поллютант / Pollutant	$PM_{2.5}$	PM_{10}	NO_2	SO_2	O_3	CO
Заболевания сердечно-сосудистой системы / Cardiovascular disease	+	+	-	+	+	-
Заболевания органов дыхания Respiratory disease	+	+	+	+	+	-
Заболевания центральной нервной системы и психические нарушения Central nervous system diseases and mental disorders	+	+	+	-	-	+
Патологии эндокринной системы Endocrine system pathology	+	-	-	+	+	-
Нарушения репродуктивной функции Reproductive disorders	+	+	+	+	+	-
Онкологические заболевания Oncological diseases	+	-	+	-	-	-
Отягощение течения COVID-19 Complications of COVID-19	-	-	+	-	+	+

Примечание: «-» – связь не выявлена.
Note: “-” – connection not found.

Новейшие тенденции в изучении воздействия поллютантов атмосферного воздуха на здоровье человека

В последние годы отмечается смещение акцентов в проблеме изучения влияния загрязнителей атмосферного воздуха на здоровье человека, в частности, исследователи начали уделять внимание изучению возможной роли поллютантов в формировании деменции и когнитивных нарушений [61]. Несмотря на возрастающее количество публикаций по данной проблеме, количество систематических обзоров и метаанализов весьма ограничено [1], доказательства воздействия загрязнителей воздуха остаются сомнительными, поэтому требуются дальнейшие исследования, анализирующие влияние загрязнения воздуха на психические, психологические и социальные аспекты жизни человека. Отдельного внимания заслуживают публикации, освещающие влияние поллютантов на репродуктивное здоровье женщин (невынашивание беременности при экстракорпоральном оплодотворении, преждевременные роды, гипотрофия и другие нарушения развития плода). Однако данных о влиянии на репродуктивную функцию женщин и мужчин в настоящее время недостаточно [92], как и на другие нарушения в эндокринной системе, что требует дальнейших исследований в данном направлении.

В последние годы отмечается повышение интереса к вопросу влияния O_3 атмосферного воздуха на состояние здоровья, что возможно, обусловлено сохранением воздействия повышенных концентраций приземного озона в странах юго-восточной Азии и Китае.

Одним из интересных направлений в изучении влияния загрязнённого атмосферного воздуха на здоровье человека является вклад в заболеваемость и смертность от инфекционных заболеваний. В условиях пандемии новой коронавирусной инфекции COVID-19 интересным и перспективным направлением является выявление корреляции между уровнем загрязнения атмосферного воздуха и показателями заболеваемости и смертности от COVID-19, учитывая, что рядом авторов уже получены первые положительные результаты [79, 80].

В развитых странах, достигших определённых результатов по обеспечению безопасной внешней среды, в последнее время поднимается вопрос о надёжности принятых стандартов качества воздуха. В ряде исследований установлено, что длительное воздействие поллю-

тантов при концентрациях, значительно ниже текущих современных стандартов, оказывают существенные негативные последствия для здоровья как среди взрослого, так и детского населения [89, 93]. Таким образом, можно предположить, что действующие стандарты качества атмосферного воздуха недостаточно защищают население от вредных последствий воздействия поллютантов.

Заключение

В данном обзоре представлены современные данные по проблеме влияния поллютантов атмосферного воздуха на различные органы и системы человека. Наиболее исследованными загрязнителями атмосферного воздуха в контексте влияния на здоровье человека являются $PM_{2.5}$, PM_{10} , NO_2 . Большинство опубликованных работ посвящены изучению влияния поллютантов на дыхательную и сердечно-сосудистую системы, однако в последние годы вектор научных интересов смещается в сторону определения возможной роли поллютантов в формировании психических расстройств, патологии центральной нервной и эндокринной систем, репродуктивной функции. Продолжительное воздействие NO_2 , $PM_{2.5}$, CO и O_3 имеет положительную корреляционную связь с увеличением числа заболеваемости и смертности от SARS-CoV-2. Установлено, что длительное воздействие поллютантов при концентрациях значительно ниже текущих современных стандартов оказывает существенное негативное влияние на здоровье как взрослого, так и детского населения, что диктует необходимость продолжения исследований в данном направлении с целью решения вопроса о возможной коррекции современных стандартов качества воздуха.

Таким образом, важными и перспективными научными направлениями являются мониторинг состояния атмосферного воздуха, определение приоритетных загрязнителей, изучение их влияния на малоизученные аспекты здоровья человека, коррекция стандартов качества воздуха, разработка прогностических моделей по загрязнению воздуха и ассоциированными с ним заболеваемостью и смертностью населения.

References

1. Dominski F.H., Branco J.H.L., Buonanno G., Stabile L., da Silva M.G., Andrade A. Effects of air pollution on health: A mapping review of systematic reviews and

- meta-analyses // *Environmental Research*. 2021. V. 201. Article No. 111487. doi: 10.1016/j.envres.2021.111487
2. Sanyal S., Rochereau T., Maesano C.N., Com-Ruelle L., Annesi-Maesano I. Long-term effect of outdoor air pollution on mortality and morbidity: a 12-year follow-up study for metropolitan France // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2018. V. 15 (11). Article No. 2487. doi: 10.3390/ijerph15112487
3. World Health Organisation – Ambient (outdoor) air pollution [Internet resource] [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (Accessed: 25.01.2023).
4. Krupnova T.G., Bulanova A.V., Makarovskikh T.A., Herreinstein A.V. Urban air pollution modeling: a critical review // *Theoretical and Applied Ecology*. 2022. No. 1. P. 27–33. doi: 10.25750/1995-4301-2022-1-027-033
5. Trifonova T.A., Martsev A.A., Selivanov O.G. Gas-air emissions from glass container production as a risk factor for public health // *Theoretical and Applied Ecology*. 2020. No. 4. P. 155–161 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2020-4-155-161
6. Kalinin S.I., Toropova S.I. Statistical methods for analyzing the correlation between air quality and the state of children's health in the Kirov region // *Theoretical and Applied Ecology*. 2019. No. 2. P. 143–148 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2019-2-143-148
7. Ioannidis J.P. The mass production of redundant, misleading, and conflicted systematic reviews and meta-analyses // *The Milbank quarterly*. 2016. V. 94. No. 3. P. 485–514. doi: 10.1111/1468-0009.12210
8. Dhital S., Rupakheti D. Bibliometric analysis of global research on air pollution and human health: 1998–2017 // *Environmental Science and Pollution Research*. 2019. V. 6 (13). P. 13103–13114. doi: 10.1007/s11356-019-04482-x
9. Tainio M., Jovanovic Andersen Z., Nieuwenhuijsen M.J., Hu L., de Nazelle A., An R., Garcia L.M.T., Goenka S., Zapata-Diomedes B., Bull F., Sá T.H. Air pollution, physical activity and health: a mapping review of the evidence // *Environment International*. 2021. V. 147. Article No. 105954. doi: 10.1016/j.envint.2020.105954
10. Manisalidis I., Stavropoulou E., Stavropoulos A., Bezirtzoglou E. Environmental and health impacts of air pollution: a review // *Frontiers in Public Health*. 2020. V. 8. Article No. 14. doi: 10.3389/fpubh.2020.00014
11. Kim H., Kim J., Kim S., Kang S.H., Kim H.J., Kim H., Heo J., Yi S.M., Kim K., Youn T.J., Chae I.H. Cardiovascular effects of long-term exposure to air pollution: a population-based study with 900845 person-years of follow-up // *Journal of the American Heart Association*. 2017. V. 6. No. 11. Article No. e007170. doi: 10.1161/JAHA.117.007170
12. Kim I.S., Yang P.S., Lee J., Yu H.T., Kim T.H., Uhm J.S., Pak H.N., Lee M.H., Joung B. Long-term exposure of fine particulate matter air pollution and incident atrial fibrillation in the general population: a nationwide cohort study // *International Journal of Cardiology*. 2019. V. 283. P. 178–183. doi: 10.1016/j.ijcard.2018.12.048
13. Yang X., Liang F., Li J., Chen J., Liu F., Huang K., Cao J., Chen S., Xiao Q., Liu X., Shen C., Yu L., Lu F., Wu X., Wu X., Li Y., Zhao L., Hu D., Huang J., Lu X., Liu Y., Gu D. Associations of long-term exposure to ambient PM_{2.5} with mortality in Chinese adults: a pooled analysis of cohorts in the China-PAR project // *Environment International*. 2020. V. 138. Article No. 105589. doi: 10.1016/j.envint.2020.105589
14. Yin P., Brauer M., Cohen A., Burnett R.T., Liu J., Liu Y., Liang R., Wang W., Qi J., Wang L., Zhou M. Long-term fine particulate matter exposure and nonaccidental and cause-specific mortality in a large national cohort of Chinese men // *Environmental Health Perspectives*. 2017. V. 125. No. 11. Article No. 117002. doi: 10.1289/EHP1673
15. Yang Y., Tang R., Qiu H., Lai P.C., Wong P., Thach T.Q., Allen R., Brauer M., Tian L., Barratt B. Long term exposure to air pollution and mortality in an elderly cohort in Hong Kong // *Environment International*. 2018. V. 117. P. 99–106. doi: 10.1016/j.envint.2018.04.034
16. Peng Z., Liu C., Xu B., Kan H., Wang W. Long-term exposure to ambient air pollution and mortality in a Chinese tuberculosis cohort // *Science of the Total Environment*. 2017. V. 580. P. 1483–1488. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.12.128
17. Liu S., Zhou Y., Liu S., Chen X., Zou W., Zhao D., Li X., Pu J., Huang L., Chen J., Li B., Liu S., Ran P. Association between exposure to ambient particulate matter and chronic obstructive pulmonary disease: results from a cross-sectional study in China // *Thorax*. 2016. V. 72. No. 9. P. 788–795. doi: 10.1136/thoraxjnl-2016-208910
18. Li R., Zhou R., Zhang J. Function of PM_{2.5} in the pathogenesis of lung cancer and chronic airway inflammatory diseases (review) // *Oncology Letters*. 2018. V. 15. No. 5. P. 7506–7514. doi: 10.3892/ol.2018.8355
19. Li J., Lu X., Liu F., Liang F., Huang K., Yang X., Xiao Q., Chen J., Liu X., Cao J., Chen S., Shen C., Yu L., Lu F., Wu X., Zhao L., Wu X., Li Y., Hu D., Huang J., Zhu M., Liu Y., Shen H., Gu D. Chronic effects of high fine particulate matter exposure on lung cancer in China // *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2020. V. 202. No. 11. P. 1551–1559. doi: 10.1164/rccm.202001-0002OC
20. Zhang Z., Yan W., Chen Q., Zhou N., Xu Y. The relationship between exposure to particulate matter and breast cancer incidence and mortality: a meta-analysis // *Medicine (Baltimore)*. 2019. V. 98. No. 50. Article No. e18349. doi: 10.1097/MD.00000000000018349
21. Chen J., Hoek G. Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: A systematic review and meta-analysis // *Environment International*. 2020. V. 143. Article No. 105974. doi: 10.1016/j.envint.2020.105974
22. Chen G., Wang A., Li S., Zhao X., Wang Y., Li H., Meng X., Knibbs L.D., Bell M.L., Abramson M.J., Wang Y., Guo Y. Long-term exposure to air pollution and sur-

- vival after ischemic stroke // *Stroke*. 2019. V. 50. No. 3. P. 563–570. doi: 10.1161/strokeaha.118.023264
23. 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. V. 28. No. 12. P. 14–22 (in Russian). doi: 10.33396/1728-0869-2021-12-14-22
24. Gurung A., Son J.-Y., Bell M.L. Particulate matter and risk of hospital admission in the Kathmandu Valley, Nepal: a case-crossover study // *American Journal of Epidemiology*. 2017. V. 186. No. 5. P. 573–580. doi: 10.1093/aje/kwx135
25. Huang K., Liang F., Yang X., Liu F., Li J., Xiao Q., Chen J., Liu X., Cao J., Shen C., Yu L., Lu F., Wu X., Zhao L., Wu X., Li Y., Hu D., Huang J., Liu Y., Lu X., Gu D. Long term exposure to ambient fine particulate matter and incidence of stroke: prospective cohort study from the China-PAR project // *BMJ*. 2019. V. 367. Article No. l6720. doi: 10.1136/bmj.l6720
26. Huang K., Yang X., Liang F., Liu F., Li J., Xiao Q., Chen J., Liu X., Cao J., Shen C., Yu L., Lu F., Wu X., Zhao L., Wu X., Li Y., Hu D., Huang J., Liu Y., Lu X., Gu D. Long-term exposure to fine particulate matter and hypertension incidence in China // *Hypertension*. 2019. V. 73. No. 6. P. 1195–1201. doi: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.119.12666
27. Li J., Liu F., Liang F., Huang K., Yang X., Xiao Q., Chen J., Liu X., Cao J., Chen S., Shen C., Yu L., Lu F., Wu X., Zhao L., Wu X., Li Y., Hu D., Huang J., Liu Y., Lu X., Gu D. Long-term effects of high exposure to ambient fine particulate matter on coronary heart disease incidence: a population-based Chinese cohort study // *Environmental Science & Technology*. 2020. V. 54. No. 11. P. 6812–6821. doi: 10.1021/acs.est.9b06663
28. Liang F., Liu F., Huang K., Yang X., Li J., Xiao Q., Chen J., Liu X., Cao J., Shen C., Yu L., Lu F., Wu X., Wu X., Li Y., Hu D., Huang J., Liu Y., Lu X., Gu D. Long-term exposure to fine particulate matter and cardiovascular disease in China // *Journal of the American College of Cardiology*. 2020. V. 75. No. 7. P. 707–717. doi: 10.1016/j.jacc.2019.12.031
29. Guo C., Zeng Y., Chang L.Y., Yu Z., Bo Y., Lin C., Lau A.K., Tam T., Lao X.Q. Independent and opposing associations of habitual exercise and chronic PM_{2.5} exposures on hypertension incidence // *Circulation*. 2020. V. 142. No. 7. P. 645–656. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.120.045915
30. Kim O.J., Lee S.H., Kang S.H., Kim S.Y. Incident cardiovascular disease and particulate matter air pollution in South Korea using a population-based and nationwide cohort of 0.2 million adults // *Environmental Health*. 2020. V. 19. No. 1. Article No. 113. doi: 10.1186/s12940-020-00671-1
31. Noh J., Sohn J., Han M., Kang D.R., Choi Y.J., Kim H.C., Suh I., Kim C., Shin D.C. Long-term effects of cumulative average PM_{2.5} exposure on the risk of hemorrhagic stroke // *Epidemiology*. 2019. V. 30. Suppl. 1. P. S90–S98. doi: 10.1097/EDE.0000000000001001
32. Zhang Z., Kang J., Hong Y.S., Chang Y., Ryu S., Park J., Cho J., Guallar E., Shin H.C., Zhao D. Long-term particulate matter exposure and incidence of arrhythmias: a cohort study // *Journal of the American Heart Association*. 2020. V. 9. No. 22. Article No. e016885. doi: 10.1161/JAHA.120.016885
33. Li T., Hu R., Chen Z., Li Q., Huang S., Zhu Z., Zhou L.F. Fine particulate matter (PM_{2.5}): the culprit for chronic lung diseases in China // *Chronic Diseases and Translational Medicine*. 2018. V. 4. No. 3. P. 176–186. doi: 10.1016/j.cdtm.2018.07.002
34. Guo C., Zhang Z., Lau A.K.H., Lin C.Q., Chuang Y.C., Chan J., Jiang W.K., Tam T., Yeoh E.K., Chan T.C., Chang L.Y., Lao X.Q. Effect of long-term exposure to fine particulate matter on lung function decline and risk of chronic obstructive pulmonary disease in Taiwan: a longitudinal, cohort study // *The Lancet Planetary Health*. 2018. V. 2. No. 3. P. e114–e125. doi: 10.1016/S2542-5196(18)30028-7
35. Han C., Oh J., Lim Y.H., Kim S., Hong Y.C. Long-term exposure to fine particulate matter and development of chronic obstructive pulmonary disease in the elderly // *Environment International*. 2020. V. 143. Article No. 105895. doi: 10.1016/j.envint.2020.105895
36. Maklakova O.A. Assessing risks of respiratory organs diseases and co-morbid pathology in children caused by ambient air contamination with technogenic chemicals (cohort study) // *Health Risk Analysis*. 2019. No. 2. P. 56–63. doi: 10.21668/health.risk/2019.2.06.eng
37. Kramar L.V., Larina T.Yu., Morozova D.Yu. Assessment of the effect of atmospheric air pollution on the incidence of bronchial obstruction in children with acute respiratory viral infections // *Modern problems of science and education*. 2019. V. 5. P. 100 (in Russian).
38. Thurston G.D., Balmes J.R., Garcia E., Gilliland F.D., Rice M.B., Schikowski T., Van Winkle L.S., Annesi-Maesano I., Burchard E.G., Carlsten C., Harkema J.R., Khreis H., Kleeberger S.R., Kodavanti U.P., London S.J., McConnell R., Peden D.B., Pinkerton K.E., Reibman J., White C.W. Outdoor air pollution and new-onset airway disease. An official American thoracic society workshop report // *Annals of the American Thoracic Society*. 2020. V. 17. No. 4. P. 387–398. doi: 10.1513/AnnalsATS.202001-046ST
39. Orellano P., Quaranta N., Reynoso J., Balbi B., Vasquez J. Effect of outdoor air pollution on asthma exacerbations in children and adults: systematic review and multilevel meta-analysis // *PLoS One*. 2017. V. 12. No. 3. Article No. e0174050. doi: 10.1371/journal.pone.0174050
40. Kravitz-Wirtz N., Teixeira S., Hajat A., Woo B., Crowder K., Takeuchi D. Early-life air pollution exposure, neighborhood poverty, and childhood asthma in the United States, 1990–2014 // *International Journal of Environmen-*

- tal Research and Public Health. 2018. V. 15. No. 6. Article No. 1114. doi: 10.3390/ijerph15061114
41. Achakulwisut P., Brauer M., Hystad P., Anenberg S.C. Global, national, and urban burdens of paediatric asthma incidence attributable to ambient NO₂ pollution: estimates from global datasets // *The Lancet Planetary Health*. 2019. V. 3. No. 4. P. e166–e178. doi: 10.1016/S2542-5196(19)30046-4
42. To T., Zhu J., Stieb D., Gray N., Fong I., Pinault L., Jerrett M., Robichaud A., Ménard R., van Donkelaar A., Martin R.V., Hystad P., Brook J.R., Dell S. Early life exposure to air pollution and incidence of childhood asthma, allergic rhinitis and eczema // *European Respiratory Journal*. 2020. V. 55. No. 2. Article No. 1900913. doi: 10.1183/13993003.00913-2019
43. Havet A., Zerimech F., Sanchez M., Siroux V., Le Moual N., Brunekreef B., Stempfelet M., Künzli N., Jacquemin B., Matran R., Nadif R. Outdoor air pollution, exhaled 8-isoprostane and current asthma in adults: The EGEA study // *European Respiratory Journal*. 2018. V. 51. No. 4. Article No. 1702036. doi: 10.1183/13993003.02036-2017
44. Dai Y., Qiu H., Sun S., Yang Y., Lin H., Tian L. Age-dependent effect of ambient ozone on emergency asthma hospitalizations in Hong Kong // *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 2018. V. 141. No. 4. P. 1532–1534. doi: 10.1016/j.jaci.2018.01.006
45. Li X., Chen Q., Zheng X., Li Y., Han M., Liu T., Xiao J., Guo L., Zeng W., Zhang J., Ma W. Effects of ambient ozone concentrations with different averaging times on asthma exacerbations: a meta-analysis // *Science of the Total Environment*. 2019. V. 691. P. 549–561. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.06.382
46. Hong E., Lee S., Kim G.-B., Kim T.-J., Kim H.-W., Lee K., Son B.-S. Effects of environmental air pollution on pulmonary function level of residents in Korean industrial complexes // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2018. V. 15. No. 5. Article No. 834. doi: 10.3390/ijerph15050834
47. Li Z., Xu X., Thompson L.A., Gross H.E., Shenkman E.A., DeWalt D.A., Huang I.-C. Longitudinal effect of ambient air pollution and pollen exposure on asthma control: the patient-reported outcomes measurement information system (PROMIS) pediatric asthma study // *Academic Pediatrics*. 2019. V. 19. No. 6. P. 615–623. doi: 10.1016/j.acap.2019.03.010
48. Chan T.C., Zhang Z., Lin B.C., Lin C., Deng H.B., Chuang Y.C., Chan J.W.M., Jiang W.K., Tam T., Chang L.Y., Hoek G., Lau A.K.H., Lao X.Q. Long-term exposure to ambient fine particulate matter and chronic kidney disease: a cohort study // *Environmental Health Perspectives*. 2018. V. 126. No. 10. Article No. 107002. doi: 10.1289/EHP3304
49. Lin S.Y., Ju S.W., Lin C.L., Hsu W.H., Lin C.C., Ting I.W., Kao C.H. Air pollutants and subsequent risk of chronic kidney disease and end-stage renal disease: a population-based cohort study // *Environmental Pollution*. 2020. V. 261. Article No. 114154. doi: 10.1016/j.envpol.2020.114154
50. Ran J., Sun S., Han L., Zhao S., Chen D., Guo F., Li J., Qiu H., Lei Y., Tian L. Fine particulate matter and cause-specific mortality in the Hong Kong elder patients with chronic kidney disease // *Chemosphere*. 2020. V. 247. Article No. 125913. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.125913
51. Fan H.C., Chen C.Y., Hsu Y.C., Chou R.H., Teng C.J., Chiu C.H., Hsu C.Y., Muo C.H., Chang M.Y., Chang K.H. Increased risk of incident nasopharyngeal carcinoma with exposure to air pollution // *PLoS One*. 2018. V. 13. No. 9. Article No. e0204568. doi: 10.1371/journal.pone.0204568
52. Zhang H., Li Z. MicroRNA-16 via Twist1 inhibits EMT induced by PM_{2.5} exposure in human hepatocellular carcinoma // *Open Medicine (Wars)*. 2019. V. 14. No. 1. P. 673–682. doi: 10.1515/med-2019-0078
53. Teng B., Zhang X., Yi C., Zhang Y., Ye S., Wang Y., Tong D.Q., Lu B. The association between ambient air pollution and allergic rhinitis: further epidemiological evidence from Changchun, Northeastern China // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2017. V. 14. No. 3. Article No. 226. doi: 10.3390/ijerph14030226
54. Chen J.H., Kuo T.Y., Yu H.L., Wu C., Yeh S.L., Chiou J.M., Chen T.F., Chen Y.C. Long-term exposure to air pollutants and cognitive function in Taiwanese community-dwelling older adults: a four-year cohort study // *Journal of Alzheimer's Disease*. 2020. V. 78. No. 4. P. 1585–1600. doi: 10.3233/JAD-200614
55. Wang J., Li T., Lv Y., Kraus V.B., Zhang Y., Mao C., Yin Z., Shi W., Zhou J., Zheng T., Kinney P.L., Ji J., Tang S., Shi X. Fine particulate matter and poor cognitive function among Chinese older adults: evidence from a community-based, 12-year prospective cohort study // *Environmental Health Perspectives*. 2020. V. 128. No. 6. Article No. 67013. doi: 10.1289/EHP5304
56. Braithwaite I., Zhang S., Kirkbride J.B., Osborn D.P., Hayes J.F. Air pollution (particulate matter) exposure and associations with depression, anxiety, bipolar, psychosis and suicide risk: a systematic review and meta-analysis // *Environmental Health Perspectives*. 2019. V. 127. No. 12. Article No. 126002. doi: 10.1289/EHP4595
57. Liu Q., Wang W., Gu X., Deng F., Wang X., Lin H., Guo X., Wu S. Association between particulate matter air pollution and risk of depression and suicide: a systematic review and meta-analysis // *Environmental Science and Pollution Research International*. 2021. V. 28. No. 8. P. 9029–9049. doi: 10.1007/s11356-021-12357-3
58. Davoudi M., Barjasteh-Askari F., Amini H., Lester D., Mahvi A.H., Ghavami V., Rezvani Ghalhari M. Association of suicide with short-term exposure to air pollution at different lag times: a systematic review and meta-analysis // *Science of the Total Environment*. 2021. V. 771. Article No. 144882. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.144882

59. Zeng Y., Lin R., Liu L., Liu Y., Li Y. Ambient air pollution exposure and risk of depression: a systematic review and meta-analysis of observational studies // *Psychiatry Research*. 2019. V. 276. P. 69–78. doi: 10.1016/j.psychres.2019.04.019
60. Fu P., Guo X., Cheung F.M.H., Yung K.K.L. The association between PM_{2.5} exposure and neurological disorders: a systematic review and meta-analysis // *Science of the Total Environment*. 2019. V. 655. P. 1240–1248. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.218
61. Peters R., Mudway I., Booth A., Peters J., Anstey K.J. Putting fine particulate matter and dementia in the wider context of noncommunicable disease: where are we now and what should we do next: a systematic review // *Neuroepidemiology*. 2021. V. 55. No. 4. P. 253–265. doi: 10.1159/000515394
62. Shi L., Steenland K., Li H., Liu P., Zhang Y., Lyles R.H., Requia W.J., Ilango S.D., Chang H.H., Wingo T., Weber R.J., Schwartz J. A national cohort study (2000–2018) of long-term air pollution exposure and incident dementia in older adults in the United States // *Nature Communications*. 2021. V. 12. No. 1. Article No. 6754. doi: 10.1038/s41467-021-27049-2
63. Livingston G., Huntley J., Sommerlad A., Ames D., Ballard C., Banerjee S., Brayne C., Burns A., Cohen-Mansfield J., Cooper C., Costafreda S.G., Dias A., Fox N., Gitlin L.N., Howard R., Kales H.C., Kivimäki M., Larson E.B., Ogunniyi A., Orgeta V., Ritchie K., Rockwood K., Sampson E.L., Samus Q., Schneider L.S., Selb k G., Teri L., Mukadam N. Dementia prevention, intervention, and care: 2020 report of the Lancet Commission // *The Lancet*. 2020. V. 396. No. 10248. P. 413–446. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30367-6
64. GBD 2019 diseases and injuries collaborators. Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019 // *The Lancet*. 2020. V. 396. No. 10258. P. 1204–1222. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30925-9
65. Peters R., Ee N., Peters J., Booth A., Mudway I., Anstey K.J. Air pollution and dementia: a systematic review // *Journal of Alzheimer's Disease*. 2019. V. 70. Suppl. 1. P. S145–S163. doi: 10.3233/JAD-180631
66. Buoli M., Grassi S., Caldiroli A., Carnevali G.S., Mucci F., Iodice S., Cantone L., Pergoli L., Bollati V. Is there a link between air pollution and mental disorders? // *Environment International*. 2018. V. 118. P. 154–168. doi: 10.1016/j.envint.2018.05.044
67. Lee S., Park H., Kim S., Lee E.K., Lee J., Hong Y.S., Ha E. Fine particulate matter and incidence of metabolic syndrome in non-CVD patients: a nationwide population-based cohort study // *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2019. V. 222. No. 3. P. 533–540. doi: 10.1016/j.ijheh.2019.01.010
68. Bo Y., Chang L.Y., Guo C., Zhang Z., Lin C., Chuang Y.C., Jiang W.K., Tam T., Chan T.C., Lin C.Y., Lau A.K., Lao X.Q., Yeoh E.K. Association of long-term exposure to fine particulate matter and incident dyslipidaemia: a longitudinal cohort study // *Environmental Research*. 2019. V. 173. P. 359–365. doi: 10.1016/j.envres.2019.03.034
69. Lin S.Y., Yang Y.C., Chang Y.Y., Lin C.C., Hsu W.H., Ju S.W., Hsu C.Y., Kao C.H. Risk of polycystic ovary syndrome in women exposed to fine air pollutants and acidic gases: a nationwide cohort analysis // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019. V. 16. No. 23. Article No. 4816. doi: 10.3390/ijerph16234816
70. Li C.Y., Wu C.D., Pan W.C., Chen Y.C., Su H.J. Association between long-term exposure to PM_{2.5} and incidence of type 2 diabetes in Taiwan: a national retrospective cohort study // *Epidemiology*. 2019. V. 30. Suppl. 1. P. S67–75. doi: 10.1097/EDE.0000000000001035
71. Liang F., Yang X., Liu F., Li J., Xiao Q., Chen J., Liu X., Cao J., Shen C., Yu L., Lu F., Wu X., Zhao L., Wu X., Li Y., Hu D., Huang J., Liu Y., Lu X., Gu D. Long-term exposure to ambient fine particulate matter and incidence of diabetes in China: a cohort study // *Environment International*. 2019. V. 126. P. 568–575. doi: 10.1016/j.envint.2019.02.069
72. Qiu H., Schooling C.M., Sun S., Tsang H., Yang Y., Lee R.S.Y., Wong C.M., Tian L. Long-term exposure to fine particulate matter air pollution and type 2 diabetes mellitus in elderly: a cohort study in Hong Kong // *Environment International*. 2018. V. 113. P. 350–356. doi: 10.1016/j.envint.2018.01.008
73. Lao X.Q., Guo C., Chang L.Y., Bo Y., Zhang Z., Chuang Y.C., Jiang W.K., Lin C., Tam T., Lau A.K.H., Lin C.Y., Chan T.C. Long-term exposure to ambient fine particulate matter (PM_{2.5}) and incident type 2 diabetes: a longitudinal cohort study // *Diabetologia*. 2019. V. 62. No. 5. P. 759–769. doi: 10.1007/s00125-019-4825-1
74. Klepac P., Locatelli I., Korošec S., Künzli N., Kukec A. Ambient air pollution and pregnancy outcomes: a comprehensive review and identification of environmental public health challenges // *Environmental Research*. 2018. V. 167. P. 144–159. doi: 10.1016/j.envres.2018.07.008
75. Bekkar B., Pacheco S., Basu R., DeNicola N. Association of air pollution and heat exposure with preterm birth, low birth weight, and stillbirth in the US: a systematic review // *JAMA Network Open*. 2020. V. 3. No. 6. Article No. e208243. doi: 10.1001/jamanetworkopen.2020.8243
76. Simoncic V., Enaux C., Deguen S., Kihal-Talantikite W. Adverse birth outcomes related to NO₂ and PM exposure: European systematic review and meta-analysis // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. V. 17. No. 21. Article No. 8116. doi: 10.3390/ijerph17218116
77. Shi W., Sun C., Chen Q., Ye M., Niu J., Meng Z., Bukulmez O., Chen M., Teng X. Association between ambient air pollution and pregnancy outcomes in patients undergoing *in vitro* fertilization in Shanghai, China: a retrospective cohort study // *Environment Interna-*

tional. 2021. V. 148. Article No. 106377. doi: 10.1016/j.envint.2021.106377

78. Zhukovsky C., Bind M.-A., Boström I., Landtblom A.-M. Air pollution as a contributing factor of relapses and cases of multiple sclerosis // *Health Risk Analysis*. 2020. No. 3. P. 169–175. doi: 10.21668/health.risk/2020.3.20.eng

79. Ogen Y. Assessing nitrogen dioxide (NO₂) levels as a contributing factor to coronavirus (COVID-19) fatality // *Science of the Total Environment*. 2020. V. 726. Article No. 138605. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138605

80. Meo S.A., Adnan Abukhalaf A., Sami W., Hong T.D. Effect of environmental pollution PM_{2.5}, carbon monoxide, and ozone on the incidence and mortality due to SARS-CoV-2 infection in London, United Kingdom // *Journal of King Saud University – Science*. 2021. V. 33. No. 3. Article No. 101373. doi: 10.1016/j.jksus.2021.101373

81. Li J., Wang Y., Yin P., Huang J., Wu Z., Cao R., Wang L., Zeng Q., Pan X., Li G., Zhou M. The burden of sulfur dioxide pollution on years of life lost from chronic obstructive pulmonary disease: a nationwide analysis in China // *Environmental Research*. 2021. V. 194. Article No. 110503. doi: 10.1016/j.envres.2020.110503

82. Myakisheva Yu.V., Pavlov A.F., Rodionova G.N., Mikhaylyuk N.A. The impact of priority air pollutants on the health of the population of the Kuybyshev district in the city of Samara, Samara oblast // *International research journal*. 2021. No. 7 (109). P. 33–38 (in Russian). doi: 10.23670/IRJ.2021.109.7.039

83. Cao D., Zheng D., Qian Z.M., Shen H., Liu Y., Liu Q., Sun J., Zhang S., Jiao G., Yang X., Vaughn M.G., Wang C., Zhang X., Lin H. Ambient sulfur dioxide and hospital expenditures and length of hospital stay for respiratory diseases: a multicity study in China // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2022. V. 229. Article No. 113082. doi: 10.1016/j.ecoenv.2021.113082

84. Shen S., Li X., Yuan C., Huang Q., Liu D., Ma S., Hui J., Liu R., Wu T., Chen Q. Association of short-term exposure to sulfur dioxide and hospitalization for ischemic and hemorrhagic stroke in Guangzhou, China // *BMC Public Health*. 2020. V. 20. No. 1. Article No. 263. doi: 10.1186/s12889-020-8354-0

85. Li Y.L., Chuang T.W., Chang P.Y., Lin L.Y., Su C.T., Chien L.N., Chiou H.Y. Long-term exposure to ozone and sulfur dioxide increases the incidence of type 2 diabetes mellitus among aged 30 to 50 adult population // *Environmental Research*. 2021. V. 194. Article No. 110624. doi: 10.1016/j.envres.2020.110624

86. Kong D., Liang J., Liu C. Invisible enemy: the health impact of ozone // *China Economic Review*. 2022. V. 72. Article No. 101760. doi: 10.1016/j.chieco.2022.101760

87. Lin C., Ma Y., Liu R., Shao Y., Ma Z., Zhou L., Jing Y., Bell M.L., Chen K. Associations between short-term ambient ozone exposure and cause-specific mortality in rural and urban areas of Jiangsu, China // *Environmental Research*. 2022. V. 211. Article No. 113098. doi: 10.1016/j.envres.2022.113098

88. Wang Y., Cao R., Xu Z., Jin J., Wang J., Yang T., Wei J., Huang J., Li G. Long-term exposure to ozone and diabetes incidence: a longitudinal cohort study in China // *Science of The Total Environment*. 2022. V. 816. Article No. 151634. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.151634

89. Holm S.M., Balmes J.R. Systematic review of ozone effects on human lung function, 2013 through 2020 // *Chest*. 2022. V. 161. No. 1. P. 190–201. doi: 10.1016/j.chest.2021.07.2170

90. Chen K., Breitner S., Wolf K., Stafoggia M., Sera F., Vicedo-Cabrera A.M., Guo Y., Tong S., Lavigne E., Matus P., Valdés N., Kan H., Jaakkola J.J.K., Rytö N.R.I., Huber V., Scortichini M., Hashizume M., Honda Y., Nunes B., Madureira J., Holobăcă I.H., Fratianne S., Kim H., Lee W., Tobias A., Íñiguez C., Forsberg B., Åström C., Ragettli M.S., Guo Y.L.L., Chen B.Y., Li S., Milojevic A., Zanobetti A., Schwartz J., Bell M.L., Gasparini A., Schneider A. Ambient carbon monoxide and daily mortality: a global time-series study in 337 cities // *The Lancet Planetary Health*. 2021. V. 5. No. 4. P. e191–e199. doi: 10.1016/S2542-5196(21)00026-7

91. Schraufnagel D.E., Balmes J.R., Cowl C.T., De Matteis S., Jung S.H., Mortimer K., Perez-Padilla R., Rice M.B., Riojas-Rodriguez H., Sood A., Thurston G.D., To T., Vanker A., Wuebbles D.J. Air pollution and noncommunicable diseases: a review by the Forum of International Respiratory Societies' Environmental Committee, Part 2: Air pollution and organ systems // *Chest*. 2019. V. 155. No. 2. P. 417–426. doi: 10.1016/j.chest.2018.10.041

92. Kumar S., Sharma A., Thaker R. Air pollutants and impairments of male reproductive health – an overview // *Reviews on Environmental Health*. 2021. V. 36. No. 4. P. 565–575. doi: 10.1515/reveh-2020-0136

93. Viegi G., Baldacci S., Maio S., Fasola S., Annesi-Maesano I., Pistelli F., Carrozzi L., La Grutta S., Forastiere F. Health effects of air pollution: a Southern European perspective // *Chinese Medical Journal*. 2020. V. 133. No. 13. P. 1568–1574. doi: 10.1097/CM9.0000000000000869