

Будилова Е.В.¹⁾, Лагутин М.Б.²⁾

¹⁾ *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, биологический факультет, кафедра экологии и географии растений, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, Москва, 119234, Россия*

²⁾ *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, механико-математический факультет, кафедра математической статистики и случайных процессов, Ленинские горы, д. 1, Москва, 119234, Россия*

ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА И ДЕМОГРАФИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗДОРОВЬЯ В ГОРОДАХ РОССИИ

Материалы и методы. *Источником информации по рождаемости и смертности служили данные Росстата по 173 городам РФ с населением более 100 тысяч человек за 2014-2016 гг., по загрязнению воздуха – Ежегодники состояния загрязнения атмосферы в городах на территории России за этот же период. Для сравнения городов с разным уровнем загрязнения атмосферного воздуха по показателям популяционного здоровья использовали непараметрический дисперсионный анализ.*

Результаты. *Сравнение групп городов с разным максимальным разовым уровнем загрязнения атмосферы бенз(а)пиреном выявило значимые различия по общим коэффициентам рождаемости и смертности, коэффициенту жизнениности и индексу старения.*

Сравнение групп городов с разным среднегодовым уровнем загрязнения атмосферного воздуха по 19 загрязняющим веществам показало: только для бенз(а)пирена, диоксида азота, оксида азота и аммиака обнаружена статистически значимая связь с характеристиками популяционного здоровья. Для бенз(а)пирена получены результаты, аналогичные результатам, полученным для максимальных разовых концентраций бенз(а)пирена (кроме общего коэффициента смертности, для которого связи не значимы). Статистически значимые связи загрязнения воздуха диоксидом азота, оксидом азота и аммиаком выявлены с общим коэффициентом смертности и коэффициентом жизнениности, а для загрязнения аммиаком еще и с демографическим индексом старения.

Закключение. *В городах РФ максимальное разовое загрязнение атмосферного воздуха бенз(а)пиреном статистически значимо связано с общим коэффициентом рождаемости, коэффициентом жизнениности и индексом старения: в группах городов с увеличением уровня загрязнения атмосферного воздуха медианные значения общего коэффициента рождаемости и коэффициента жизнениности растут, а медианные значения индекса старения снижаются.*

Сравнение групп городов с разным среднегодовым уровнем загрязнения атмосферного воздуха по 19 загрязняющим веществам показало наличие статистически значимых эффектов для загрязнения бенз(а)пиреном, диоксидом азота, оксидом азота и аммиаком.

Выявлена статистически значимая неоднородность групп городов с разным среднегодовым уровнем загрязнения воздуха бенз(а)пиреном по общему коэффициенту рождаемости, индексу старения и коэффициенту жизнениности: с увеличением уровня загрязнения атмосферного воздуха медианные значения общего коэффициента рождаемости и коэффициента жизнениности растут, а медианные значения индекса старения снижаются.

Обнаружена статистически значимая неоднородность групп городов с разным среднегодовым уровнем загрязнения воздуха диоксидом азота, оксидом азота и аммиаком по общему коэффициенту смертности и коэффициенту жизнениности, а для загрязнения аммиаком еще и по демографическому индексу старения. В городах с повышенным уровнем загрязнения атмосферного воздуха диоксидом азота и аммиаком общий коэффициент смертности выше.

Ключевые слова: *рождаемость; смертность; коэффициент жизнениности; индекс старения; загрязнение атмосферы*

Введение

Данная работа – продолжение нашего предыдущего исследования, в котором была рассмотрена взаимосвязь демографических характеристик популяционного здоровья (рождаемости, смертности, коэффициента жизненности и индекса старения) с уровнем хронического, длительного загрязнения воздуха в городах России [Будилова, Лагутин, 2021]. Для этого был использован показатель ИЗА – комплексный индекс загрязнения атмосферы, учитывающий несколько примесей одновременно. Проведенное исследование показало, что группы городов, объединенные по уровню загрязнения атмосферного воздуха (низкий, повышенный, высокий, очень высокий), отличаются по медианным значениям общего коэффициента рождаемости, коэффициента жизненности и индекса старения, при этом по общему коэффициенту смертности значимые различия между этими группами не обнаружены. Было также установлено, что с ростом уровня загрязнения атмосферного воздуха растут и медианные значения общего коэффициента рождаемости и коэффициента жизненности, а медианные значения индекса старения снижаются. Полученные в работе результаты согласуются с положениями теории эволюции жизненного цикла [Roff, 1992; Stearns, 1992; Teriokhin et al., 2003].

В данной работе мы рассматриваем влияние отдельных компонентов загрязнения атмосферного воздуха на те же демографические характеристики популяционного здоровья населения. В Ежегодниках состояния загрязнения атмосферы в городах на территории России [Ежегодник..., 2015, 2016, 2017] приводятся данные по 19-ти загрязняющим веществам.

Бенз(а)пирен (БП) попадает в атмосферу при сгорании различных видов топлива, в наибольших количествах – с выбросами предприятий цветной и черной металлургии, энергетики и строительной промышленности. Проявляет высокую канцерогенную активность, очень токсичен. По степени воздействия на организм относится к 1 (высшему) классу опасности. Среднесуточная предельно допустимая концентрация (ПДК с.с.) бенз(а)пирена на территории России составляет 0,001 мкг/м³.

Взвешенные вещества (ВВ) – это пыль, зола, сажа, дым, сульфаты, нитраты и другие твердые вещества. ВВ образуются в результате сгорания

всех видов топлива, при производственных процессах, могут также иметь естественное происхождение (например, в результате почвенной эрозии). Повышенное содержание в воздухе взвешенных пылевых частиц (особенно диаметром 2,5 мкм и меньше) оказывает разнообразное вредное влияние на органы дыхания [Review..., 2013; Burden..., 2014; WHO..., 2018] и кровообращения [Atkinson et al., 2013], вызывает преждевременную смертность [Review..., 2013], повышает риск возникновения болезни Альцгеймера и других деменций [Cacciottolo et al., 2017]. Взвешенные пылевые частицы, содержащие канцерогенные вещества, вызывают онкологические заболевания [Kampa, Castanas, 2008; Outdoor..., 2013]. Группой ученых в 2020 г. проведено исследование связи долгосрочного воздействия мелких твердых частиц (PM_{2,5}) и повышенного риска смерти от COVID-19 в США, в котором было показано, что небольшое увеличение долгосрочного воздействия PM_{2,5} приводит к значительному увеличению смертности от COVID-19 [Wu et al., 2020]. В России ПДКс.с. по сумме взвешенных веществ составляет 150 мкг/м³, по PM₁₀ – 60 мкг/м³, а по PM_{2,5} – 35 мкг/м³.¹

Формальдегид (Ф) образуется в атмосфере в результате фотохимического окисления и неполного сгорания углеводородов, входит в состав выхлопных газов и газовых выбросов заводов и мусоросжигательных фабрик. По степени воздействия на организм относится к 1 (высшему) классу опасности. Оказывает всестороннее вредное влияние на организм человека, признан канцерогеном. В России ПДКс.с. формальдегида² составляет 10 мкг/м³.

Этилбензол (ЭБ) попадает в атмосферу с выбросами промышленных предприятий. При длительном воздействии на организм человека провоцирует хронические заболевания крови и печени. На территории России максимальная разовая предельно допустимая концентрация (ПДКм.р.) этилбензола в воздухе составляет 20 мкг/м³.

Твердые фториды (Тв. HF), фторид водорода (HF) попадают в атмосферу с выбросами промышленных предприятий, особенно связанных

¹ PM₁₀, PM_{2,5} – обозначение пылевых частиц с аэродинамическим диаметром менее 10 мкм и менее 2,5 мкм.

² Это значение ПДК было введено в 2014 г. (прежнее значение составляло 3 мкг/м³).

с производством алюминия. При хроническом ингаляционном действии фторсодержащие примеси могут приводить к патологии костно-мышечной системы. В России ПДКс.с. фторида водорода составляет 5 мкг/м³.

Оксиды азота (NO_x) образуются в процессе сгорания органического топлива, которое используется в промышленности, электростанциями и транспортом. В крупных городах основным источником оксидов азота является автотранспорт. Оксиды азота, особенно диоксид азота (NO₂), оказывают разнообразное вредное влияние на органы дыхания. Диоксид азота относится к веществам 2 класса опасности. Отмечается также, что диоксид азота способен усиливать действие канцерогенов (Первичная профилактика..., 2011). В проведенных в последние годы исследованиях была подтверждена взаимосвязь между колебаниями ежедневных концентраций NO₂ и показателями смертности, госпитализации и респираторных симптомов, а также показаны взаимосвязи между длительными экспозициями NO₂ и смертностью, и заболеваемостью [Review..., 2013]. Все выбросы оксидов азота обычно пересчитываются на NO₂, хотя сложно точно определить, какая часть выбросов оксидов азота присутствует в атмосфере в той или другой форме. В России ПДКс.с. оксида азота составляет 60 мкг/м³, а диоксида азота – 40 мкг/м³.

Аммиак попадает в атмосферу как в результате процессов природного происхождения, так и в результате промышленных отходов. Относится к токсическим веществам 4-го класса опасности. В больших концентрациях по физиологическому действию на организм входит в группу веществ удушающего и нейротропного действия. Опасен также для окружающей среды, особенно водных экосистем. В России ПДКс.с. аммиака составляет 40 мкг/м³.

Озон в приземных слоях атмосферы образуется в процессе фотохимических реакций, происходящих в загрязненном воздухе под воздействием солнечной радиации. На содержание озона в нижних слоях атмосферы влияют как погодные и физико-химические условия, так и диоксид и оксид азота, а также присутствующие в воздухе углеводороды и другие загрязняющие вещества. Озон, будучи сильным окислителем, имеет высокую токсичность, обладает раздражающим и канцерогенным действием. Относится к веществам

1 класса опасности. Исследования Американского онкологического общества свидетельствуют о влиянии долгосрочного воздействия озона на смертность от респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний, а также смертность среди людей с потенциально предрасполагающими заболеваниями (хронические обструктивные заболевания легких, диабет, застойная сердечная недостаточность и инфаркт миокарда) [Review..., 2013]. Эпидемиологические и экспериментальные данные, полученные на людях и на животных, показывают также, что озон влияет на когнитивное развитие и репродуктивное здоровье, включая преждевременные роды [Review..., 2013]. В России ПДКс.с. озона составляет 30 мкг/м³.

Оксид углерода (CO) образуется в результате неполного сгорания топлива и поступает в атмосферу с выбросами промышленных предприятий (главным образом, металлургических и нефтехимических) и от автомобильного транспорта. Отрицательно воздействует на здоровье людей, особенно при сердечно-сосудистых заболеваниях. В России ПДКс.с. оксида углерода составляет 3 мг/м³.

Диоксид серы (SO₂) и растворимые сульфаты поступают в атмосферу при сгорании топлива, содержащего серу. Основные источники диоксида серы в воздухе городов – это электростанции, котельные и предприятия металлургии. Относится к токсическим веществам 3-го класса опасности. По данным ВОЗ, воздействие диоксида серы в концентрациях выше предельно допустимых может приводить к существенному увеличению заболеваний дыхательных путей, особенно чувствительны к воздействию этого загрязнителя больные с астмой [WHO..., 2018]. В России ПДКс.с. диоксида серы составляет 50 мкг/м³.

Хлорид водорода (HCl) поступает в атмосферу с выбросами промышленных предприятий. Особо токсичен, относится к сильнодействующим ядовитым веществам 3 класса опасности. Хроническое воздействие хлорида водорода вызывает заболевания верхних дыхательных путей, желудочно-кишечного тракта, нарушение эмали зубов. В России ПДКс.с. хлорида водорода составляет 100 мкг/м³.

Подробное описание этих и других загрязняющих веществ, источников загрязнения, токсического воздействия, предельно допустимых концентраций, а также анализ динамики загряз-

нения атмосферы в городах России можно найти в упомянутых Ежегодниках [Ежегодник..., 2015, 2016, 2017].

Материалы и методы

Источником информации по демографическим показателям здоровья жителей городов России служили сборники Росстата «Регионы России. Основные социально-экономические показатели городов». В издании, в частности, представлена информация о демографических характеристиках и социально-экономическом положении городов с численностью населения свыше 100 тысяч человек. Эти сборники издаются с периодичностью один раз в два года. Поскольку на момент проведения исследования были опубликованы данные по городам только до 2017 г., в наших расчетах использовались значения показателей за 2014-2016 гг., чтобы учесть влияние небольшой динамики этих показателей. Было отобрано 173 города, в которых на момент исследования население составляло более 100 тысяч человек.

В качестве демографических показателей здоровья использовали число родившихся на 1000 человек населения (общий коэффициент рождаемости), число умерших на 1000 человек населения (общий коэффициент смертности), а также расчетные показатели – индекс старения и коэффициент жизнениности. Индекс старения рассчитывается как отношение удельного веса населения старше трудоспособного возраста к удельному весу населения моложе трудоспособного возраста, умноженное на 100. Коэффициент жизнениности рассчитывается как отношение числа родившихся к числу умерших за определенный период времени (обычно за год), и характеризует воспроизводство населения. Если коэффициент жизнениности меньше 1, то происходит депопуляция населения, если больше 1 – то численность населения увеличивается. Такие показатели, как общая заболеваемость, инвалидность, заболеваемость по классам болезней, а также заболеваемость социально значимыми болезнями Росстат представляет по стране в целом, федеральным округам и субъектам РФ, а для городов в доступных материалах Росстата они отсутствуют.

Источниками информации по веществам, загрязняющим атмосферу, служили «Ежегодники

состояния загрязнения атмосферы в городах на территории России» за тот же период, т.е. за 2014-2016 гг. Эти Ежегодники издаются Федеральным государственным бюджетным учреждением «Главная геофизическая обсерватория им.А.И.Воейкова» (ФГБУ «ГГО») и содержат сведения по загрязнению атмосферного воздуха в населенных пунктах Российской Федерации (по данным государственной наблюдательной сети Росгидромета, а также Роспотребнадзора и локальных систем мониторинга предприятий).

В данном исследовании были использованы два показателя загрязнения воздуха: стандартный индекс (СИ) и среднегодовая концентрация, превышающая предельно допустимую концентрацию (ПДК)³ загрязняющего вещества.

Загрязнение воздуха определяется по значениям средних и максимальных разовых концентраций примесей, а степень загрязнения оценивается при сравнении фактических концентраций с предельно допустимыми. Средние концентрации сравниваются с ПДК среднесуточными (ПДКс.с.) и годовыми (ПДКгод), максимальные из разовых концентраций – с ПДК максимальными разовыми (ПДКм.р.).

СИ – это наибольшая измеренная разовая концентрация отдельной примеси, деленная на максимальную разовую ПДКм.р. Стандартный индекс определяется из данных наблюдений за примесями за месяц или год и характеризует степень кратковременного загрязнения [Ежегодник..., 2015]. СИ рассматривался для 14 загрязняющих веществ, для которых приводится информация в Ежегодниках. Это: бенз(а)пирен (БП), взвешенные вещества (ВВ), формальдегид (Ф), этилбензол (ЭБ), твердые фториды (Тв. HF), фторид водорода (HF), диоксид азота (NO₂), оксид азота (NO), аммиак (NH₃), оксид углерода (CO), диоксид серы (SO₂), сероуглерод (CS₂), сероводород (H₂S), хлорид водорода (HCl).

³ Предельно допустимая концентрация примеси для населенных мест (ПДК) устанавливается Главным санитарным врачом Российской Федерации [«Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест». Гигиенические нормативы. ГН 2.1.6.1338-03. М., 2003; 11 дополнений и 2 постановления к ГН].

Среднегодовая концентрация ($Q_{\text{сред.г.}}$) в Ежегодниках приводится для 19 загрязняющих веществ. Это: бенз(а)перен, взвешенные вещества, формальдегид, этилбензол, твердые фториды, фторид водорода, диоксид азота, оксид азота, аммиак, оксид углерода, диоксид серы, сероуглерод, сероводород, хлорид водорода, озон, фенол, свинец, сажа, медь.

Поскольку почти все показатели здоровья и независимые факторы имеют сильно асимметричное распределение, для сравнения групп городов с разным уровнем загрязнения по показателям рождаемости, смертности, индекса старения и коэффициента жизненности использовали непараметрический дисперсионный анализ. Для проверки значимости различий между группами городов применялся ранговый критерий Краскела – Уоллиса. При всех расчетах использовали программы пакета статистических программ Statistica 8.0.

Результаты

По данным метеостанций, которые приводятся в Ежегоднике [Ежегодник..., 2017], в 2016 г. в городах 22 субъектов Российской Федерации максимальная концентрация того или иного загрязняющего атмосферу вещества превышала 10 ПДК ($СИ > 10$). Больше всего таких городов в Иркутской области – 8 городов. В Красноярском крае – 5, в Республике Бурятия, Забайкальском крае, Кемеровской, Сахалинской и Челябинской областях – по два города.

Значительное число городов РФ (147 городов) находилось в 2016 г. под воздействием загрязняющих веществ, средняя (за год) концентрация которых превышала ПДК ($Q_{\text{сред.г.}} > 1 \text{ ПДК}$).

Ниже приведены результаты исследования влияния уровня загрязнения атмосферы по этим двум показателям на демографические характеристики популяционного здоровья жителей 173 российских городов с населением более 100 тысяч человек.

Сравнение групп городов с разным уровнем загрязнения атмосферы (СИ) по характеристикам популяционного здоровья

В данной работе рассматривалось влияние 14 примесей: бенз(а)пирен (БП), взвешенных ве-

ществ (ВВ), формальдегида (Ф), этилбензола (ЭБ), твердых фторидов (Тв. HF), фторида водорода (HF), диоксида азота (NO_2), оксида азота (NO), аммиака (NH_3), оксида углерода (CO), диоксида серы (SO_2), сероуглерода (CS_2), сероводорода (H_2S), хлорида водорода (HCl).

При значениях $СИ < 1$ загрязнение воздуха тем или иным видом примесей не оказывает существенного влияния на здоровье человека и окружающую среду, однако при значениях $СИ > 10$ – загрязнение воздуха характеризуется как высокое [Ежегодник..., 2015].

Поэтому в исходных расчетных таблицах для 173 городов России (2014-2016 гг.) для каждого из рассмотренных веществ при $СИ < 10$ указывался 0, при $СИ > 10$ – 1. Для возможности применения статистических методов выделяли только те виды загрязнений, по которым в группу «единиц» ($СИ > 10$) входят не менее 5 городов.

Проведенный анализ собранной информации показал, что этому условию удовлетворяет только загрязнение бенз(а)пиреном ($СИ_{\text{БП}}$). В группу городов с высоким уровнем загрязнения бенз(а)пиреном (группу 1) входили от 13 (2016 г.) до 17 (2014 г.) городов из Северо-Западного, Приволжского, Уральского, Сибирского и Дальневосточного федеральных округов, при этом преобладали города из Сибирского ФО (табл. 1). Для $СИ_{\text{БП}}$ мы сравнили группу «единиц» с группой «нулей» по общим показателям рождаемости и смертности, а также коэффициенту жизненности и индексу старения, используя критерий Краскела-Уоллиса.

Сравнение групп городов с разным уровнем загрязнения воздуха бенз(а)пиреном по общему коэффициенту рождаемости выявило значимую неоднородность групп в 2014 и 2016 годах ($p = 0,001$ и $p = 0,05$ соответственно). В 2015 году уровень значимости был равен 0,072. В частности, на рисунке 1 приведены диаграммы размахов общего коэффициента рождаемости в 2014 году для групп городов с высоким и низким уровнем загрязнения воздуха бенз(а)пиреном. Можно видеть, что в группе городов с более высоким уровнем загрязнения воздуха медианное значение общего коэффициента рождаемости выше: 13,9 против 12,3.

Таблица 1. Города с высоким уровнем загрязнения воздуха бенз(а)пиреном
Table 1. Cities with high levels of benzo[a]pyrene air pollution

Город	Стандартный индекс СИ>10		
	2014 г.	2015 г.	2016 г.
Северо-Западный федеральный округ			
Архангельск	+	-	+
Санкт-Петербург	+	-	-
Приволжский федеральный округ			
Набережные Челны	+	-	-
Уральский Федеральный округ			
Курган	-	+	-
Нижний Тагил	-	+	-
Челябинск	+	+	-
Магнитогорск	+	+	+
Сибирский федеральный округ			
Улан-Удэ*	+	+	+
Кызыл	+	+	+
Абакан	+	+	-
Чита*	+	+	+
Красноярск	+	+	+
Ачинск	-	-	+
Иркутск	+	-	+
Ангарск	+	-	-
Братск	-	+	+
Новокузнецк	+	+	+
Кемерово	-	+	+
Новосибирск	+	-	+
Дальневосточный федеральный округ			
Уссурийск	-	+	-
Комсомольск-на-Амуре	+	-	-
Благовещенск	+	+	+
Южно-Сахалинск	+	-	-

Примечания. Знаком «+» отмечены города, в которых СИ >10, знаком «-» – города, в которых СИ < 10. * В 2018 г. субъект вышел из состава Сибирского ФО и вошел в состав Дальневосточного ФО.

Notes. The sign "+" marks the cities in which SI >10, the sign "-" – the cities in which SI <10 (SI – standard air pollution indicator). * In 2018, the subject left the Siberian Federal District and became part of the Far Eastern Federal District.

По общему коэффициенту смертности значимое отличие групп городов с разным уровнем загрязнения воздуха бенз(а)пиреном выявлено только в 2014 г. ($p = 0,035$), а в 2015 и 2016 годах значимые отличия не выявлены ($p = 0,402$ и $p = 0,218$ соответственно). На рисунке 2 представлены диаграммы размахов общего коэффи-

циента смертности для двух групп городов с разным уровнем загрязнения воздуха. Можно видеть, что в группе городов с повышенным содержанием бенз(а)пирена в воздухе (2014 г.) медианное значение общего коэффициента смертности ниже: 11,4 против 12,5. Аналогичная картина наблюдалась также в 2015 г.: 11,7 против 12,5 и в 2016 г.: 11,4 против 12,5, однако в эти годы эти различия были статистически не значимы.

Сравнение групп городов по коэффициенту жизнениости выявило значимые различия в 2014 г. ($p = 0,002$) и отсутствие значимых различий между группами в 2015 г. ($p = 0,157$) и 2016 г. ($p = 0,107$). На рисунке 3 представлены диаграммы размахов коэффициента жизнениости для двух групп городов с разным уровнем загрязнения воздуха бенз(а)пиреном. Видно, что с ростом уровня загрязнения воздуха повышается и медианное значение коэффициентов жизнениости: 1,168 против 0,974. Аналогичный результат, но статистически не значимый, получен в 2015 г. (1,209 против 1,046) и в 2016 г. (1,205 против 1,027).

Сравнение групп городов по индексу старения выявило значимые различия между группами «единиц» и «нулей» в 2014 г. ($p = 0,0014$), 2015 г. ($p = 0,001$) и 2016 г. ($p = 0,0012$). При этом, медианные значения индекса старения выше в группе городов с низким уровнем загрязнения бенз(а)пиреном (2014 г.: 145,3 против 121,1; 2015 г.: 143,9 против 120,9; 2016 г.: 143,1 против 120,5). Для 2016 г. диаграмма размахов индексов старения показана на рисунке 4.

Сравнение групп городов с разным среднегодовым уровнем загрязнения атмосферного воздуха по характеристикам популяционного здоровья

Сравнение групп городов проводили по 19 видам загрязняющих веществ (это – бенз(а)перен, взвешенные вещества, формальдегид, этилбензол, твердые фториды, фторид водорода, диоксид азота, оксид азота, аммиак, оксид углерода, диоксид серы, сероуглерод, сероводород, хлорид водорода, озон, фенол, свинец, сажа, медь), которые приводятся в [Ежегодник..., 2015, 2016, 2017]. При сравнении использовался показатель «среднегодовая концентрация загрязняющего вещества» (Qсред.г.). Если в том или ином городе показатель Qсред.г. <1 ПДК, то город относили к группе,

обозначаемой «0», если $Q_{\text{сред.г.}} > 1$ ПДК, то эту группу городов обозначали «1». Рассматривалось каждое загрязняющее вещество в отдельности. Для возможности применения статистических методов в исследование включали только те виды загрязнений, по которым в группу «единиц» ($Q_{\text{сред.г.}} > 1$ ПДК) входят не менее 5 городов. Проведенный анализ собранной ин-

формации показал, что этому условию удовлетворяют только загрязнения бенз(а)пиреном (БП), взвешенными веществами (ВВ), формальдегидом (Ф), диоксидом азота (NO_2), оксидом азота (NO), аммиаком (NH_3) и фенолом (табл. 2). Для каждого из этих загрязняющих веществ мы сравнили группу «нулей» с группой «единиц» по общим показателям рождаемости и смертности,

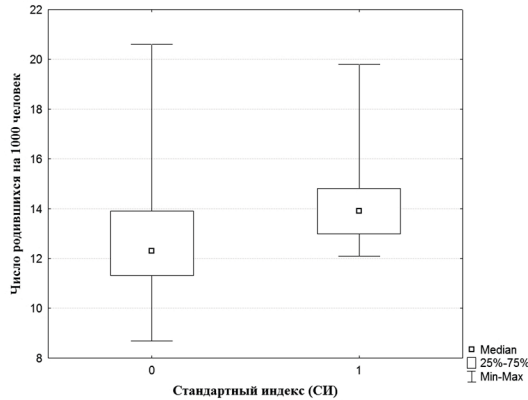


Рисунок 1. Различия общего коэффициента рождаемости для групп городов с разным уровнем загрязнения воздуха бенз(а)пиреном (2014 г.)

Figure 1. Differences in the total fertility rate for groups of cities with different levels with benzo[a]pyrene of air pollution (2014)

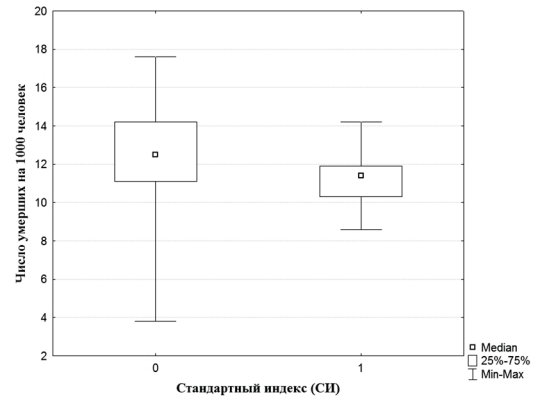


Рисунок 2. Различия общего коэффициента смертности для групп городов с разным уровнем загрязнения воздуха бенз(а)пиреном (2014 г.)

Figure 2. Differences in the total mortality rate for groups of cities with different levels with benzo[a]pyrene of air pollution (2014)

Примечания к рис. 1-2. Уровни загрязнения воздуха: 0 – СИ < 10, 1 – СИ > 10.

Notes for fig.1-2. Levels of air pollution: 0 – SI < 10, 1 – SI > 10 (SI – standard air pollution indicator).

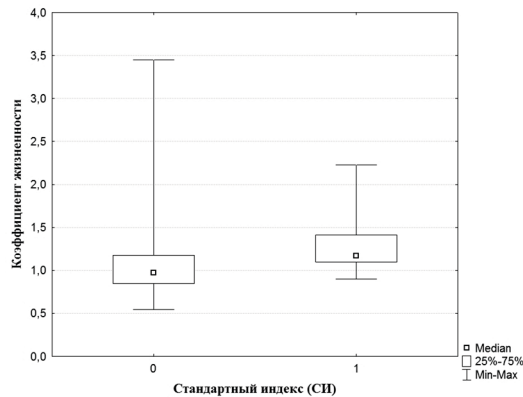


Рисунок 3. Различия коэффициента жизненности для групп городов с разным уровнем загрязнения воздуха (2014 г.)

Figure 3. Differences in birth-death ratio for groups of cities with different levels of air pollution (2014)

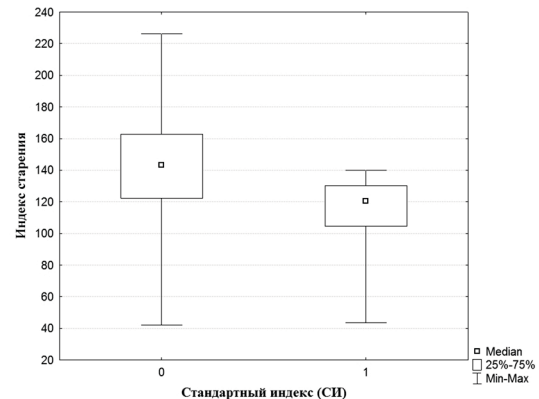


Рисунок 4. Различия индекса старения для групп городов с разным уровнем загрязнения воздуха (2016 г.)

Figure 4. Differences in aging index for groups of cities with different levels of air pollution (2016)

Примечание к рис. 3-4. Уровни загрязнения воздуха: 0 – $Q_{\text{сред.г.}} < 1$ ПДК; 1 – $Q_{\text{сред.г.}} > 1$ ПДК.

Notes for fig. 3-4. Levels of air pollution: 0 – $Q_{\text{a.a.c.}} < 1$ MPC; 1 – $Q_{\text{a.a.c.}} > 1$ MPC;

$Q_{\text{a.a.c.}}$ – average annual concentration; MPC – maximum permissible concentration.

а также коэффициенту жизнениности и индексу старения, используя критерий Краскела-Уоллиса. Для учета временного тренда сравнения групп городов с разным уровнем загрязнения воздуха проводили для каждого года в отдельности. Результаты расчетов представлены в таблице 3. Уровни значимости, меньшие 0,05, выделены жирным шрифтом.

Сравнение групп городов с разным уровнем загрязнения атмосферного воздуха по характеристикам популяционного здоровья выявило значимую неоднородность групп только для загрязнения бенз(а)пиреном, диоксидом азота, оксидом азота и аммиаком, при этом для указанных загрязнителей значимые различия были выявлены для разных характеристик популяционного здоровья (табл. 3).

Загрязнение атмосферного воздуха бенз(а)пиреном. В группу городов с повышенным среднегодовым содержанием бенз(а)пирена в атмосферном воздухе ($Q_{\text{сред.г.}} > 1$ ПДК) в 2014 г. вошло 56 городов, в 2015 – 24 города, в 2016 – 30 городов (табл. 2). Среди этих городов (2014 г.) 5 городов из Центрального федерального округа (ЦФО), 6 – из Северо-Западного (С-ЗФО), 2 – из Южного (ЮФО), 2 – из Северо-Кавказского (С-КФО), 12 – Приволжского (ПФО), 8 – из Уральского (УФО), 16 – из Сибирского (СФО) и 5 – из Дальневосточного (ДФО). Десять городов из этого списка относятся к крупнейшим городам РФ, то есть, население этих городов превышает 1 млн человек.

Критерий Краскела-Уоллиса выявил значимую неоднородность групп в 2014, 2015, 2016 годах по общему коэффициенту рождаемости и индексу старения, а также по коэффициенту жизнениности в 2014 году.

В частности, в 2014 году диаграммы размахов общего коэффициента рождаемости для групп городов с повышенным и низким уровнем загрязнения воздуха бенз(а)пиреном имела вид, показанный на рисунке 5. Можно видеть, что в группе городов (1) медианное значение общего коэффициента рождаемости выше: 13,2 против 12,0.

Диаграммы размахов индекса старения для групп городов с повышенным и низким уровнем загрязнения воздуха бенз(а)пиреном пока-

зана на рисунке 6: в группе городов (1) индекс старения ниже (131,9 против 145,3).

Загрязнение атмосферного воздуха диоксидом азота. В группу городов с повышенным уровнем загрязнения атмосферного воздуха диоксидом азота в 2014 г. вошли 60 городов, в 2015 г. – 55, а в 2016 г. – 39 (табл. 3). Например, в 2014 г. в этот список вошли 13 городов из ЦФО, 4 – из С-ЗФО, 5 – из ЮФО, 3 – из С-КФО, 12 – ПФО, 6 – из УФО, 11 – из СФО и 6 – ДФО, причем пять городов (Москва, Санкт-Петербург, Уфа, Нижний Новгород и Екатеринбург) относятся к крупнейшим. Для общего коэффициента рождаемости и индекса старения значимые различия между двумя исследованными группами городов отсутствовали. Однако для общего коэффициента смертности и коэффициента жизнениности в 2016 г. выявлена значимая неоднородность групп: в городах с повышенным уровнем загрязнения атмосферного воздуха диоксидом азота общий коэффициент смертности выше (13,6 против 11,9), а коэффициент жизнениности ниже (0,960 против 1,082) по сравнению с группой городов с низким уровнем загрязнения (рис. 7).

Загрязнение атмосферного воздуха оксидом азота. В группу городов с повышенным уровнем загрязнения воздуха оксидом азота вошли от 4 до 5 городов. Критерий Краскела-Уоллиса выявил значимую неоднородность групп городов для двух показателей популяционного здоровья: общего коэффициента смертности и коэффициента жизнениности и только в 2014 году. В группе городов с повышенным уровнем загрязнения воздуха оксидом азота медианное значение общего коэффициента смертности было ниже (9,7), а коэффициента жизнениности выше (1,028) по сравнению с группой городов с низким уровнем загрязнения воздуха (12,4 и 1,000 соответственно). В качестве примера на рисунке 8 показаны диаграммы размахов общего коэффициента смертности для двух групп городов.

Однако, с учетом того, что группу 1 вошло только пять городов (табл. 2), скорее всего, этот результат появился из-за крайне малого размера этой группы, т. е. вызван случайностью.

Загрязнение атмосферного воздуха аммиаком. В группу городов с повышенным уровнем загрязнения воздуха аммиаком в 2014 г. вошли 5 городов, в 2015 г. – 7, в 2016 г. – 8 (табл. 2). Значимая неоднородность групп городов с разным уровнем загрязнения воздуха была выявлена по нескольким

показателям популяционного здоровья: общему коэффициенту смертности и коэффициенту жизнениности в 2014 году и индексу старения – в 2014-2016 годах (табл. 3). В частности, диаграммы размахов индекса старения для двух групп городов показаны на рисунке 9.

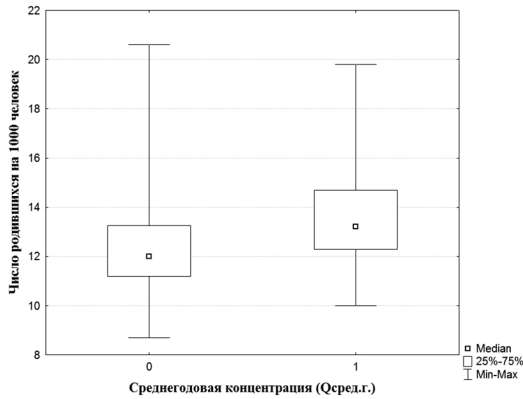


Рисунок 5. Различия общего коэффициента рождаемости для групп городов с разным уровнем загрязнения воздуха бенз(а)пиреном (2014 г.)

Figure 5. Differences in the total fertility rate for groups of cities with different levels with benzo[a]pyrene of air pollution (2014)

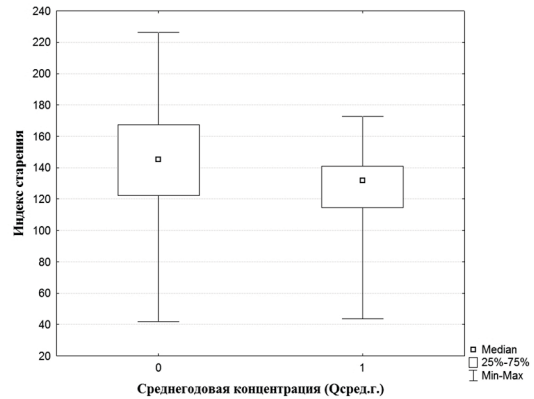


Рисунок 6. Различия индекса старения для групп городов с разным уровнем загрязнения воздуха бенз(а)пиреном (2016 г.)

Figure 6. Differences in aging index for groups of cities with different levels with benzo[a]pyrene of air pollution (2016)

Примечание к рис. 5-6. Уровни загрязнения воздуха: 0 – Qсред.г. < 1 ПДК; 1– Qсред.г. > 1 ПДК.
Notes for fig. 5-6. Levels of air pollution: 0 – Qa.a.c. < 1 MPC; 1– Qa.a.c. > 1 MPC;
Qa.a.c.– average annual concentration; MPC – maximum permissible concentration.

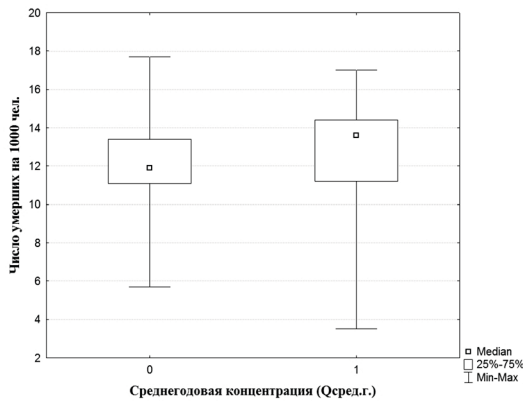


Рисунок 7. Различия общего коэффициента смертности для групп городов с разным уровнем загрязнения воздуха диоксидом азота (2016 г.)

Figure 7. Differences in the total mortality rate for groups of cities with different levels with nitrogen dioxide of air pollution (2016)



Рисунок 8. Различия общего коэффициента смертности для групп городов с разным уровнем загрязнения воздуха оксидом азота (2014 г.)

Figure 8. Differences in total mortality rate for groups of cities with different levels with nitric oxide of air pollution (2016)

Примечание к рис. 7-8. Уровни загрязнения воздуха: 0 – Qсред.г. < 1 ПДК; 1– Qсред.г. > 1 ПДК.
Notes for fig. 7-8. Levels of air pollution: 0 – Qa.a.c. < 1 MPC; 1– Qa.a.c. > 1 MPC;
Qa.a.c.– average annual concentration; MPC – maximum permissible concentration.

Таблица 2. Группы городов с повышенной среднегодовой концентрацией ($Q_{\text{сред.г.}} > 1$ ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе
Table 2. Groups of cities with a heightened average annual concentration ($Q_{a.a.c.} > 1$ MPC) of pollutants in the air

Загрязняющее вещество (1)	Год (2)	Число городов в группе «1» (3)	Города, вошедшие в группу «1» (4)
Бенз(а)пирен (БП)	2014	56	Подольск, Мытищи, Электросталь, Рязань, Тверь, Петрозаводск, Сыктывкар, Архангельск, Калининград, Великий Новгород, С-Петербург, Краснодар, Новороссийск, Махачкала, Владикавказ, Уфа, Стерлитамак, Саранск, Казань, Набережные Челны, Киров, Нижний Новгород, Арзамас, Оренбург, Самара, Тольятти, Балаково, Курган, Екатеринбург, Нижний Тагил, Первоуральск, Тюмень, Челябинск, Магнитогорск, Златоуст, Улан-Уде, Кызыл, Абакан, Барнаул, Бийск, Чита, Красноярск, Ачинск, Иркутск, Братск, Ангарск, Кемерово, Новокузнецк, Прокопьевск, Новосибирск, Омск, Уссурийск, Хабаровск, Комсомольск-на-Амуре, Благовещенск, Южно-Сахалинск
	2015	24	Калининград, Курган, Нижний Тагил, Первоуральск, Челябинск, Златоуст, Магнитогорск, Улан-Уде, Кызыл, Абакан, Барнаул, Чита, Красноярск, Ачинск, Иркутск, Ангарск, Кемерово, Новокузнецк, Новосибирск, Уссурийск, Хабаровск, Комсомольск-на-Амуре, Благовещенск, Южно-Сахалинск
	2016	30	Калининград, Новочеркасск, Березняки, Тольятти, Курган, Екатеринбург, Нижний Тагил, Первоуральск, Челябинск, Магнитогорск, Златоуст, Улан-Уде, Кызыл, Абакан, Барнаул, Чита, Красноярск, Ачинск, Иркутск, Братск, Ангарск, Кемерово, Новокузнецк, Новосибирск, Владивосток, Уссурийск, Хабаровск, Комсомольск-на-Амуре, Благовещенск, Южно-Сахалинск
Взвешенные вещества (ВВ)	2014	27	Владимир, Воронеж, Липецк, Орел, Смоленск, Тамбов, Петрозаводск, Калининград, Ростов-на-Дону, Таганрог, Шахты, Махачкала, Казань, Дзержинск, Екатеринбург, Магнитогорск, Улан-Уде, Барнаул, Чита, Иркутск, Братск, Бердск, Якутск, Уссурийск, Хабаровск, Комсомольск-на-Амуре, Южно-Сахалинск
	2015	26	Воронеж, Иваново, Орел, Смоленск, Тамбов, Новороссийск, Ростов-на-Дону, Таганрог, Шахты, Новочеркасск, Махачкала, Владикавказ, Дмитровград, Екатеринбург, Каменск-Уральский, Магнитогорск, Улан-Уде, Барнаул, Чита, Ачинск, Иркутск, Новосибирск, Бердск, Уссурийск, Комсомольск-на-Амуре, Хабаровск
	2016	22	Воронеж, Иваново, Орел, Смоленск, Тверь, Ростов-на-Дону, Шахты, Новочеркасск, Махачкала, Каменск-Уральский, Магнитогорск, Златоуст, Улан-Уде, Барнаул, Чита, Иркутск, Братск, Новосибирск, Бердск, Якутск, Хабаровск, Комсомольск-на-Амуре
Формальдегид (Ф)	2014	28	Владимир, Курск, Рязань, Москва, Архангельск, Астрахань, Волгодонск, Саранск, Набережные Челны, Нижнекамск, Дзержинск, Пенза, Саратов, Балаково, Курган, Екатеринбург, Нижний Тагил, Сургут, Магнитогорск, Златоуст, Улан-Уде, Чита, Красноярск, Ачинск, Братск, Томск, Петропавловск-Камчатский, Хабаровск

Продолжение таблицы 2
Table 2 continued

(1)	(2)	(3)	(4)
Формальдегид (Ф)	2015	32	Старый Оскол, Иваново, Курск, Рязань, Москва, Сыктывкар, Калининград, Астрахань, Новочеркасск, Волгодонск, Набережные Челны, Ижевск, Дзержинск, Пенза, Самара, Саратов, Балаково, Курган, Нижний Тагил, Сургут, Нефтеюганск, Челябинск, Магнитогорск, Златоуст, Улан-Уде, Барнаул, Красноярск, Ачинск, Иркутск, Братск, Томск, Хабаровск
	2016	40	Старый Оскол, Иваново, Курск, Серпухов, Рязань, Тула, Сыктывкар, Череповец, Калининград, Астрахань, Волжский, Ростов-на-Дону, Новочеркасск, Волгодонск, Саранск, Набережные Челны, Нижнекамск, Ижевск, Дзержинск, Орск, Пенза, Самара, Саратов, Балаково, Курган, Екатеринбург, Нижний Тагил, Гобольск, Сургут, Магнитогорск, Златоуст, Улан-Уде, Красноярск, Ачинск, Иркутск, Братск, Ангарск, Омск, Томск, Южно-Сахалинск
Диоксид азота (NO ₂)	2014	60	Старый Оскол, Брянск, Воронеж, Калуга, Подольск, Мытищи, Электросталь, Щелково, Орел, Тамбов, Тула, Ярославль, Москва, Вологда, Калининград, Псков, С-Петербург, Краснодар, Новороссийск, Астрахань, Волжский, Таганрог, Махачкала, Владикавказ, Невинномыск, Уфа, Салават, Саранск, Березники, Нижний Новгород, Дзержинск, Орск, Сызрань, Саратов, Балаково, Ульяновск, Димитровград, Екатеринбург, Каменск-Уральский, Первоуральск, Тюмень, Нижневартовск, Златоуст, Улан-Уде, Барнаул, Бийск, Чита, Норильск, Ачинск, Иркутск, Ангарск, Кемерово, Прокопьевск, Томск, Владивосток, Уссурийск, Артем, Хабаровск, Благовещенск, Южно-Сахалинск
	2015	55	Старый Оскол, Брянск, Воронеж, Калуга, Подольск, Мытищи, Электросталь, Серпухов, Щелково, Орел, Смоленск, Тамбов, Москва, Калининград, С-Петербург, Астрахань, Волжский, Таганрог, Махачкала, Владикавказ, Невинномыск, Уфа, Салават, Саранск, Березники, Орск, Сызрань, Балаково, Ульяновск, Димитровград, Курган, Екатеринбург, Каменск-Уральский, Первоуральск, Тюмень, Сургут, Нижневартовск, Златоуст, Улан-Уде, Барнаул, Бийск, Чита, Ачинск, Иркутск, Ангарск, Кемерово, Прокопьевск, Томск, Владивосток, Уссурийск, Находка, Артем, Хабаровск, Благовещенск, Южно-Сахалинск
	2016	39	Брянск, Воронеж, Иваново, Калуга, Подольск, Серпухов, Орел, Тамбов, Ярославль, Москва, С-Петербург, Таганрог, Шахты, Махачкала, Владикавказ, Невинномыск, Саранск, Березники, Дзержинск, Орск, Балаково, Ульяновск, Курган, Екатеринбург, Каменск-Уральский, Барнаул, Бийск, Норильск, Ачинск, Иркутск, Братск, Прокопьевск, Томск, Владивосток, Уссурийск, Находка, Артем, Благовещенск, Южно-Сахалинск
Оксид азота (NO)	2014	5	Москва, Тюмень, Норильск, Владивосток, Южно-Сахалинск
	2015	4	Тюмень, Ачинск, Владивосток, Южно-Сахалинск
	2016	5	Березники, Тюмень, Норильск, Ачинск, Владивосток
Аммиак (NH ₃)	2014	5	Нижний Новгород, Дзержинск, Самара, Саратов, Ульяновск
	2015	7	Щелково, Великий Новгород, С-Петербург, Волжский, Дзержинск, Самара, Саратов
	2016	8	Тула, Москва, С-Петербург, Волжский, Дзержинск, Самара, Екатеринбург, Новокузнецк
Фенол	2014	10	Калуга, Орел, Краснодар, Дзержинск, Орск, Димитровград, Нижневартовск, Нефтеюганск, Чита, Новосибирск
	2015	1	Дзержинск
	2016	0	–

Таблица 3. Сравнение групп городов с разным уровнем загрязнения атмосферного воздуха (0 – Qсред.г. < 1 ПДК; 1– Qсред.г.> 1 ПДК)
Table 3. Comparison of groups of cities with different levels of air pollution (0 – Qa.a.c. <1 MPC; 1 – Qa.a.c. > 1 MPC)

Загрязняющее вещество	Год	Общий коэффициент рождаемости, чел. на 1000 чел. населения			Общий коэффициент смертности, чел. на 1000 чел. населения			Коэффициент жизненности			Индекс старения		
		Медиана		р	Медиана		р	Медиана		р	Медиана		р
		0	1		0	1		0	1		0	1	
БП	2014	12,0	13,2	0,0004	12,7	12,0	0,406	0,957	1,112	0,012	152,5	137,7	0,008
	2015	13,1	14,3	0,011	12,5	12,0	0,980	1,046	1,172	0,196	145,3	131,8	0,001
	2016	12,7	13,6	0,053	12,6	12,0	0,930	1,025	1,071	0,417	145,3	131,9	0,006
ВВ	2014	12,7	12,7	0,840	12,1	12,4	0,896	1,023	1,000	0,894	142,1	140,8	0,778
	2015	13,3	13,7	0,990	12,3	12,8	0,350	1,065	1,065	0,593	140,4	141,2	0,555
	2016	13,1	12,5	0,510	12,1	13,6	0,309	1,05	0,991	0,340	140,3	138,4	0,860
Ф	2014	12,7	12,9	0,827	12,1	12,4	0,262	1,0	1,077	0,429	141,7	141,9	0,433
	2015	13,3	13,4	0,799	12,3	12,3	0,709	1,057	1,067	0,908	140,7	138,6	0,937
	2016	12,9	13,1	0,873	12,1	12,5	0,683	1,05	1,027	0,692	140,0	139,9	0,996
NO2	2014	12,8	12,7	0,891	11,9	12,9	0,119	1,058	0,998	0,354	141,5	142,1	0,432
	2015	13,2	13,5	0,667	12,2	12,7	0,297	1,098	1,041	0,518	140,5	140,1	0,842
	2016	13,2	12,5	0,063*	11,9	13,6	0,022	1,082	0,960	0,023	136,8	148,3	0,07*
NO	2014	12,7	13,6	0,493	12,4	9,7	0,002	1,0	1,028	0,020	142,1	109,3	0,266
	2015	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	2016	12,5	14,2	0,405	12,4	11,1	0,477	1,027	1,054	0,413	140,0	120,5	0,114
NH3	2014	12,8	12,0	0,075	12,1	14,2	0,063*	1,032	0,845	0,033	140,8	178,7	0,008
	2015	13,3	13,5	0,469	12,3	13,7	0,197	1,077	0,938	0,220	139,7	173,2	0,018
	2016	13,0	12,0	0,139	12,4	12,8	0,439	1,045	0,928	0,226	139,2	173,4	0,008
Фенол	2014	12,7	13,4	0,506	12,2	13,0	0,752	1,016	0,991	0,876	141,9	144,0	0,956
	2015	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	2016	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Примечания. БП – бенз(а)пирен, ВВ – взвешенные вещества, Ф – формальдегид, NO2 – диоксид азота, NO – оксид азота, NH3 – аммиак, р – уровень значимости.

* Критерий Краскела – Уоллиса выявил значимую на уровне 7% неоднородность групп в 2014 году.

Прочерк «–» – в группу вошло менее 5 городов.

Notes. BP – benzo (a) pyrene, BB – suspended solids, F – formaldehyde, NO2 – nitrogen dioxide, NO – nitrogen oxide, NH3 – ammonia, p – significance level.

* The Kruskal – Wallis criterion revealed significant group heterogeneity at the 7% level in 2014.

A dash “–” – the group includes less than 5 cities.

Обсуждение

Установление причинно-следственных связей между популяционными характеристиками здоровья населения (показателями рождаемости,

смертности, заболеваемости и др.) и загрязнением атмосферного воздуха представляет определенные трудности. Это связано с тем, что отрицательное воздействие загрязненного воздуха на

здоровье человека зависит от многих факторов: сложившихся метеоусловий за тот или иной период времени, территориально-пространственной локализации источников загрязнения (например, близость промышленных предприятий, автомагистралей), одновременного воздействия нескольких загрязнителей, длительности экспозиции и др. [Ежегодник, 2017; Review..., 2013; Air quality..., 2020]. Для разработки и корректировки допустимых концентраций загрязнителей атмосферы, оценки последствий их воздействия на здоровье проводятся специальные эпидемиологические исследования, а также модельные эксперименты в испытательных камерах на добровольцах и животных.

Как показывают исследования, показатель рождаемости зависит от многих факторов: демографической структуры населения, социально-экономических, экологических и природно-климатических факторов, инфекционного пресса, религиозных представлений, моделей репродуктивного поведения, образа жизни (в частности, распространения алкоголизма [Демографическая модернизация..., 2006; Малева, Синявская, 2006; Гришина, 2008; Забаев с соавт., 2013; Тындик, 2013; Будилова, 2015; Антонов, 2017; Teriokhin et al., 2003; Heineck, 2012; Conforti et al., 2018]).

В целом для России выявлены следующие значимые (на уровне $<0,001$) коэффициенты корреляции общего коэффициента рождаемости и различных факторов: территориальное положение (округ) – $R = 0,51$; доля городского населения – $R = -0,49$; доля населения пенсионного возраста – $R = -0,80$; размах температур января и июля – $R = 0,54$; сброс загрязненных сточных вод – $R = -0,27$; уровень бедности – $R = 0,38$ [Будилова, 2015].

Показатели смертности также зависят от многих причин: генетических особенностей; демографической структуры населения; природно-климатических, экологических, поселенческих, социально-экономических факторов; инфекционного пресса; факторов, связанных с психоэмоциональным стрессом; стереотипов поведения; уровня развития медицины [например, Семенова, 2005; Демографическая модернизация..., 2006; Корнешов, 2010; Пациорковский, 2010; Ревич, Малеев, 2011; Будилова, 2015; Будилова с соавт., 2019, 2020, 2021; Федотова, Горбачева, 2020; Rajaratnam et al., 2010; Hoi et al., 2014].

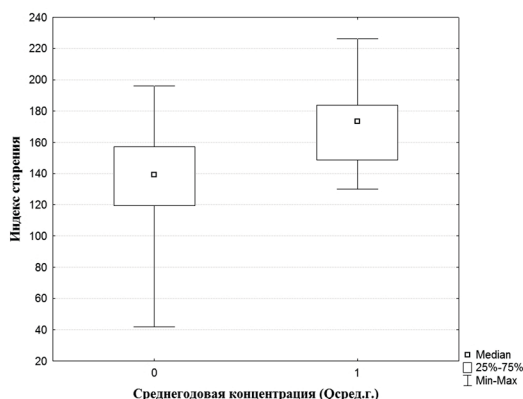


Рисунок 9. Различия индекса старения для групп городов с разным уровнем загрязнения воздуха аммиаком (2016 г.)

Figure 9. Differences in aging index for groups of cities with different levels with ammonia of air pollution (2016)

Примечания. Уровни загрязнения воздуха: 0 – Qсред.г. < 1 ПДК; 1 – Qсред.г. > 1 ПДК.

Notes. Levels of air pollution: 0 – Qa.a.c. < 1 MPC; 1 – Qa.a.c. > 1 MPC; Qa.a.c. – average annual concentration; MPC – maximum permissible concentration.

Для России в целом выявлены, в частности, следующие значимые (на уровне $<0,05$) коэффициенты корреляции средней смертности и различных факторов: размах температур – $R = 0,22$; плотность расселения – $R = -0,55$; уровень бедности – $R = 0,33$; выбросы загрязняющих веществ в атмосферу – $R = 0,30$; сброс неочищенных сточных вод – $R = 0,31$; число больных алкоголизмом – $R = 0,63$ [Будилова, 2015].

В данной работе проведено статистическое сравнительное исследование влияния широкого круга загрязнителей атмосферы на демографические показатели популяционного здоровья жителей 173 российских городов.

Уровень загрязнения атмосферного воздуха при максимальной разовой концентрации загрязняющего вещества, превышающей 10 ПДКм.р. (показатель СИ), характеризует кратковременное высокое загрязнение воздуха. Из 14 исследованных по этому показателю загрязняющих веществ только бенз(а)пирен встречается более, чем в пяти городах. Как отмечалось ранее, бенз(а)пирен относится к веществам 1 класса опасности, то есть, очень токсичен. В предыдущей нашей работе [Будилова, Лагутин, 2021] для оценки уровня загрязнения воздуха использовался качественный показатель,

имеющий 4 градации загрязнения воздуха: низкий (Н), повышенный (П), высокий (В) и очень высокий (ОВ). При формировании этих градаций используются три показателя: комплексный индекс загрязнения атмосферы (ИЗА), стандартный индекс (СИ), наибольшая повторяемость (НП, в процентах) превышения максимальной разовой ПДК. ИЗА – это комплексный индекс загрязнения атмосферы, который характеризует хроническое, длительное загрязнение воздуха и учитывает суммарно влияние нескольких примесей (в расчет включаются вещества с наибольшими нормированными значениями ПДК и с учетом их класса опасности). Как правило, для многих городов России бенз(а)пирен входит в расчетную формулу показателя ИЗА [Ежегодник..., 2015, 2016, 2017].

Сравнение результатов этих двух исследований показывает, что, как для городов с разным уровнем хронического комплексного загрязнения (Н, П, В, ОВ), так и в случае максимально разового загрязнения бенз(а)пиреном, в группах городов с увеличением уровня загрязнения атмосферного воздуха растут медианные значения общего коэффициента рождаемости и коэффициента жизнестойкости, а медианные значения индекса старения снижаются. Как отмечено в нашей предыдущей работе [Будилова, Лагутин, 2021], этот результат согласуется с положениями теории эволюции жизненного цикла [Roff, 1992; Stearns, 1992; Teriokhin et al., 2003].

Сравнение групп городов с разным среднегодовым уровнем загрязнения атмосферного воздуха ($Q_{\text{сред.г}}$) по характеристикам популяционного здоровья проводилось для 19 загрязняющих веществ. По этому показателю более, чем в пяти городах, были зафиксированы концентрации, превышающие 1 ПДК, для бенз(а)пирена, взвешенных веществ, формальдегида, диоксида азота, оксида азота, аммиака и фенола.

Проведенное дальнейшее исследование показало, что только для бенз(а)пирена, диоксида азота, оксида азота и аммиака обнаружена статистически значимая связь с характеристиками популяционного здоровья.

Бенз(а)пирен, полициклический углеводород, в 2012 г. признан Международным агентством по изучению рака ((IARC) канцерогенным для человека веществом группы 1. Яв-

ляется также канцерогеном для многих животных. Для живых организмов даже незначительные концентрации бенз(а)пирена токсичны, поскольку он обладает свойством биоаккумуляции и может поступать в организм разными путями: через кожу, органы дыхания, пищеварительный тракт и плаценту [Air pollution..., 2013].

Характер связи загрязнения воздуха бенз(а)пиреном с характеристиками популяционного здоровья, выявленный по показателю $Q_{\text{сред.г}}$, аналогичен установленным закономерностям для показателей уровней загрязнения воздуха, описанных выше. Эти результаты подтверждают высокую реактивность бенз(а)пирена как при длительном, хроническом загрязнении, так и при кратковременном воздействии повышенных концентраций на организм человека. Поскольку бенз(а)пирен обладает канцерогенными и мутагенными свойствами, то риски смерти от его воздействия на организм человека имеют отложенный эффект [Air pollution..., 2013].

Предыдущие наши исследования показывают, что с увеличением уровня загрязнения атмосферы растут общая заболеваемость, заболеваемость злокачественными образованиями, наркоманией [Будилова, 2015; Будилова с соавт., 2017, 2019]. Также показано, что в Сибирском ФО, где преимущественно расположены города с очень высоким уровнем загрязнения атмосферы (в том числе и бенз(а)пиреном), на фоне высокой общей рождаемости самый низкий индекс популяционного здоровья населения [Будилова с соавт., 2018].

Статистические значимые связи загрязнения воздуха диоксидом азота, оксидом азота и аммиаком выявлены с общим коэффициентом смертности и коэффициентом жизнестойкости, а для загрязнения аммиаком еще и с демографическим индексом старения.

Результаты, полученные для диоксида азота (в городах с повышенным уровнем загрязнения атмосферного воздуха диоксидом азота общий коэффициент смертности выше), согласуются с результатами когортных эпидемиологических исследований, в которых подтверждается взаимосвязь как между ежедневными, так и длительными, экспозициями диоксида азота и показателями смертности и заболеваемости [Review..., 2013]. Отмечаются как непосред-

ственные эффекты от воздействия диоксида азота, так и в сочетании с другими загрязняющими веществами, особенно с $PM_{2.5}$ и PM_{10} . Влияние загрязнения атмосферного воздуха диоксидом азота на смертность от респираторных заболеваний выявлено также при анализе загрязнения воздуха в Гонконге и смертностью его пожилых жителей [Hoi et al., 2014].

Как отмечалось ранее, диоксид азота способен усиливать действие канцерогенов [Первичная профилактика..., 2011]. Статистические связи между значениями коэффициента смертности от новообразований и концентрацией в атмосферном воздухе оксидов азота выявлены в работе Д.С.Рыбакова [Рыбаков, 2014] при изучении выбросов загрязняющих веществ в атмосферу г. Петрозаводска в 2000–2012 гг.

Статистически значимые результаты получены нами и для загрязнения воздуха аммиаком: в городах с повышенным его содержанием в атмосферном воздухе общий коэффициент смертности выше, а коэффициент жизненности ниже, но при этом отмечается более высокий индекс демографического старения населения.

Следует также отметить, что выбросы оксидов азота и аммиака способны оказывать непосредственное влияние не только на здоровье человека, но и на природные экосистемы и биоразнообразие, что влияет на здоровье окружающей среды в целом [Захаров, 2014; Air quality..., 2020

Заключение

Результаты исследования показывают, что в городах РФ с населением более 100 тысяч жителей максимальное разовое загрязнение атмосферного воздуха бенз(а)пиреном статистически значимо связано с общим коэффициентом рождаемости и коэффициентом жизненности, а также с индексом старения: в группах городов с увеличением уровня загрязнения атмосферного воздуха медианные значения общего коэффициента рождаемости и коэффициента жизненности растут, а медианные значения индекса старения снижаются.

Сравнение групп городов с разным среднегодовым уровнем загрязнения атмосферного воздуха по 19 загрязняющим веществам выяви-

ло статистически значимые эффекты для загрязнения бенз(а)пиреном, диоксидом азота, оксидом азота и аммиаком.

Выявлена статистически значимая неоднородность групп городов с разным уровнем загрязнения воздуха бенз(а)пиреном по общему коэффициенту рождаемости и индексу старения, а также по коэффициенту жизненности: с увеличением уровня загрязнения атмосферного воздуха медианные значения общего коэффициента рождаемости и коэффициента жизненности растут, а медианные значения индекса старения снижаются.

Выявлена статистически значимая неоднородность групп городов с разным уровнем загрязнения воздуха диоксидом азота, оксидом азота и аммиаком по общему коэффициенту смертности и коэффициенту жизненности, а для загрязнения аммиаком еще и по демографическому индексу старения. В городах с повышенным уровнем загрязнения атмосферного воздуха диоксидом азота и аммиаком общий коэффициент смертности выше.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках научного проекта государственного задания МГУ № 121032500094-5, «Построение концептуальных и математических моделей зональных типов наземных экосистем».

Библиография

Антонов А.И. Динамика репродуктивных ориентаций и возможность реализации установок на число детей в случае активизации семейно-демографической политики (или отказа от этого) в 2018–2028 г. // Демографическое образование и изучение народонаселения в университетах (к 50-летию кафедры народонаселения) (Девятые Валентеевские чтения). М.: Экономический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, 2017. С. 209–216.

Будилова Е.В. Эволюция жизненного цикла человека: анализ глобальных данных и моделирование. Дисс. ... д-ра биол. наук. М., 2015, 257 с.

Будилова Е.В., Лагутин М.Б. Типология городов России по демографическим показателям // III Римашевские чтения. Сбережение населения России: здоровье, занятость, уровень и качество жизни. Сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. (Москва 27 марта 2020 г.) / отв. ред. Локосов В.В., ред. О.А. Ефанова). М.: ИСЭПН ФНИСЦ РАН, 2020. С. 15–22.

Будилова Е.В., Лагутин М.Б. Связь демографических показателей здоровья населения и экологических факторов в городах России // Вестник Московского университета. Серия XXIII. Антропология, 2021. № 3. С. 59-71. DOI: 10.32521/2074-8132.2021.3.059-071.

Будилова Е.В., Лагутин М.Б., Мигранова Л.А. Возраст-зависимые заболевания и загрязнение окружающей среды // Клиническая геронтология, 2017. Т. 23. № 9-10. С. 8-9.

Будилова Е.В., Лагутин М.Б., Мигранова Л.А. Динамика популяционного здоровья населения России в 2005-2016 гг. // Народонаселение, 2018. Т. 21. № 2. С. 99-109. DOI: 10.26653/1561-7785-2018-21-2-08.

Будилова Е. В., Лагутин М. Б., Мигранова Л. А. Влияние демографических и социально-экономических факторов на популяционное здоровье населения // Народонаселение, 2019. № 3. С. 80-92. DOI: 10.24411/1561-7785-2019-00028.

Будилова Е.В., Лагутин М.Б., Мигранова Л.А. Влияние качества городской среды на демографические показатели здоровья населения // Народонаселение, 2021. Т. 24, № 1. С. 44-53. DOI:10.19181/population.2021.24.1.5.

Гришина О.В. Репродуктивное поведение родителей и их детей в России // Вестник Московского университета. Серия. 6, Экономика, 2008. № 6. С. 29-41.

Демографическая модернизация России: 1900-2000. Под ред. А. Вишневого. М.: Новое издательство, 2006. 601 с.

Ежегодник Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2015 г. Санкт-Петербург: ФГБУ «ГГО», 2016. 255 с.

Ежегодник Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2014 г. Санкт-Петербург: ФГБУ «ГГО», 2015. 288 с. ISBN 978-5-9907420-9-3.

Ежегодник Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2016 г. Санкт-Петербург: ФГБУ «ГГО», 2017. 228 с. ISBN 978-5-9500883-0-8.

Забаяев И.В.1, Мелкумян Е.Б.2, Орешина Д.А.3, Павлюткин И.В.4, Пруцкова Е.В. Влияние религиозной социализации и принадлежности к общине на рождаемость. Постановка проблемы // Демоскоп Weekly, 2013. № 553-554.

Захаров В.М. Оценка состояния биоразнообразия и здоровья среды // Поволжский экологический журнал. 2014. № 1. С. 50-59.

Корнешов А.А. Факторы смертности трудоспособного населения в период реформ // Народонаселение, 2010. №1. С. 19-28.

Малева Т., Сиянская О. Социально-экономические факторы рождаемости в России: эмпирические измерения и вызовы социальной политике // SPERO, 2006. № 5. С. 76-77.

Пацорковский В.В. Факторы демографического развития: пространственное размещение населения // Народонаселение, 2010. №4. С. 35-50.

Первичная профилактика рака в условиях современной России: Сб. информационно-методических писем. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. 88 с. ISBN 978-5-7508-1011-6. Электронный ресурс. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293799/4293799626.pdf> (Дата обращения- 03.08.2021).

Ревич Б.А., Малеев В.В. Изменения климата и здоровье населения России: Анализ ситуации и прогнозные оценки. М.: ЛЕНАНД, 2011. 208 с. ISBN 978-5-9710-0333-5.

Рыбаков Д. С. Статистическая оценка связи между показателями смертности и выбросами загрязняющих веществ в условиях урбанизации // Принципы экологии, 2014. № 1. С. 59-73. DOI: 10.15393/j1.art.2014.3361.

Семенова В.Г. Обратный эпидемиологический переход в России. М.: ЦСП, 2005. 235 с.

Тындик А.О. Репродуктивные установки населения в современной России // Демоскоп Weekly, 2013. № 553-554.

Федотова Т.К., Горбачева А.К. Соотносительный вклад антропогенных и природных факторов в фенотипическое многообразие соматических показателей в подростковом и юношеском возрасте (по материалам бывшего СССР) // Вестник Московского университета. Серия XXIII. Антропология, 2020. № 4. С. 5-19. DOI: 10.32521/2074-8132.2020.4.005-019.

Сведения об авторах

Будилова Елена Вениаминовна, д.б.н.; ORCID ID: 0000-0003-0769-4570; evbudilova@mail.ru;

Лагутин Михаил Борисович, ORCID ID: 0000-0003-3778-4497; lagutinmb@mail.ru.

Поступила в редакцию 23.09.2021,
принята к публикации 10.12.2021.

Budilova E.V. ¹⁾, Lagutin M.B. ²⁾¹⁾ *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Department of Plant Ecology and Geography, Leninskie Gory Street, 1, p. 12, Moscow, 119234, Russia*²⁾ *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Mechanics and Mathematics, Leninskie Gory Street, 1, p. 12, Moscow, 119234, Russia*

AIR POLLUTION AND DEMOGRAPHIC INDICATORS OF PUBLIC HEALTH IN RUSSIAN CITIES

Materials and methods. The source of information on fertility and mortality was Russian Federal State Statistics Service data on 173 cities of the Russian Federation with a population of more than 100 thousand people for 2014-2016. The sources of air pollution were the Yearbooks of the state of air pollution in cities in Russia for the same period. A nonparametric analysis of variance was used to compare cities with different levels of air pollution in terms of fertility, mortality, birth-death and aging index.

Results. Comparison of groups of cities with different maximum one-time levels of atmospheric pollution with benzo[a]pyrene revealed significant differences between the groups in terms of total fertility and mortality rates, birth-death ratio and aging index.

Comparison of groups of cities with different average annual levels of air pollution for 19 pollutants showed that only for benzo[a]pyrene, nitrogen dioxide, nitric oxide and ammonia a statistically significant relationship with the characteristics of population health was found. For benzo[a]pyrene, the results were similar to those obtained for the maximum one-time concentrations of benzo[a]pyrene (except for the total mortality rate, for which the relationships are not significant). Statistically significant relationships of air pollution with nitrogen dioxide, nitrogen oxide and ammonia were revealed with the total mortality rate and the birth-death ratio, and for ammonia pollution also with the demographic aging index.

Conclusion. In cities of the Russian Federation, the maximum one-time air pollution with benzo[a]pyrene is statistically significantly associated with the total fertility rate, birth-death ratio and the aging index: in groups of cities with an increase in the level of atmospheric air pollution, the median values of the total fertility rate and the birth-death ratio are increasing, and the median values of the aging index are decreasing.

Comparison of groups of cities with different average annual levels of air pollution for 19 pollutants revealed statistically significant effects for pollution with benzo[a]pyrene, nitrogen dioxide, nitrogen oxide and ammonia. A statistically significant heterogeneity of the groups of cities with different average annual levels of benzo[a]pyrene was revealed in terms of the total fertility rate, birth-death ratio and aging index: with an increase in the level of atmospheric air pollution, the median values of the total fertility rate and the birth-death ratio increase, while the median values of the aging index decrease. A statistically significant heterogeneity of the groups of cities with different average annual levels of air pollution with nitrogen dioxide, nitric oxide and ammonia was revealed in terms of the total mortality rate and the birth-death ratio, and for ammonia pollution also in terms of the demographic aging index. In cities with a high level of air pollution with nitrogen dioxide and ammonia, the total mortality rate is higher.

Keywords: total fertility rate; total mortality rate; birth-death ratio; aging index; air pollution

References

Antonov A.I. Dinamika reproduktivnyh orientacij i vozmozhnost' realizacii ustanovok na chislo detej v sluchae aktivizacii semejno-demograficheskoj politiki (ili otkaza ot etogo) v 2018-2028 gg. [The dynamics of re-

productive orientations and the possibility of implementing the attitudes for the number of children in the event of family-demographic policy implementation (or renunciation) in 2018-2028]. In *Demograficheskoe obrazovanie i izuchenie narodonaseleniya v universitetah (k 50-letiyu kafedry narodonaseleniya) (Devyatye Valenteevskie chteniya)* [Demographic Education and Population Studies at

Universities (to the 50th Anniversary of the Population Department) (Ninth Valentyev Readings). Moscow: Faculty of Economics, Lomonosov Moscow State University]. Moscow, Ekonomicheskij fakul'tet MGU imeni M.V. Lomonosova, 2017, pp. 209–216. (In Russ.).

Budilova E.V. *Evolutsiya zhiznennogo tsicla cheloveka: analiz globalnyh dannyh i modelirovanie* [Evolution of life cycle of human: global data and modelling]. Doctor in Biology Dissertation. Moscow, 2015. 257 p. (In Russ.).

Budilova E.V., Lagutin M.B. Tipologiya gorodov Rossii po demograficheskim pokazatelyam [Typology of Russian cities by demographic indicators]. In *III Rimashevskie chteniya. Sberezhenie naseleniya Rossii: zdorov'e, zanyatost', uroven' i kachestvo zhizni. Sbornik materialov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (Moskva 27 marta 2020 g.)* [III Rimashev Readings. Saving the population of Russia: health, employment, level and quality of life. Collection of materials of the international scientific and practical conference (Moscow, March 27, 2020)]. Eds. V.V. Lokosov, O. Efanova. Moscow, ISEPN FNISC RAN Publ., 2020, pp. 15–22. (In Russ.).

Budilova E.V., Lagutin M.B. Svyaz' demograficheskikh pokazatelej zdorov'ya naseleniya i ekologicheskikh faktorov v gorodah Rossii [The relationship between demographic indicators of public health and environmental factors in Russian cities]. *Moscow University Anthropology Bulletin* [Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya XXIII. Antropologiya], 2021, 3, pp. 59–71. DOI: 10.32521/2074-8132.2021.3.059-071 (In Russ.).

Budilova E.V., Lagutin M.B., Migranova L.A. Vozrast-zavisimye zabolvaniya i zagryaznenie okruzhayushchej sredy [Age-related diseases and environmental pollution]. *Klinicheskaya gerontologiya*. [Clinical gerontology], 2017, 23, 9–10, pp. 8–9. (In Russ.).

Budilova E.V., Lagutin M.B., Migranova L.A. Dinamika populyacionnogo zdorov'ya naseleniya Rossii v 2005–2016 gg. [Dynamics of population health in Russia in 2005–2016]. *Narodonaselenie* [Population], 2018, 21, 2, pp. 99–109. DOI: 10.26653/1561-7785-2018-21-2-08. (In Russ.).

Budilova E.V., Lagutin M.B., Migranova L.A. Vliyanie demograficheskikh i social'no-ekonomicheskikh faktorov na populyacionnoe zdorov'e naseleniya [Impact of the demographic and socio-economic factors on the population health]. *Narodonaselenie* [Population], 2019, 3, pp. 80–92. DOI: 10.24411/1561-7785-2019-00028. (In Russ.).

Budilova E.V., Lagutin M.B., Migranova L.A. Vliyanie kachestva gorodskoj sredy na demograficheskie pokazateli zdorov'ya naseleniya [Impact of urban environment quality on demographic indicators of population health]. *Narodonaselenie* [Population], 2021, 24, 1, pp. 44–53. DOI: 10.19181/population.2021.24.1.5. (In Russ.).

Grishina O.V. Reproduktivnoe povedenie roditel'ev i ih detej v Rossii [Reproductive behavior of parents and their children in Russia]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 6, Ekonomika*. [Moscow University Economics Bulletin], 2008, 6, p. 29–41. (In Russ.).

Demograficheskaya modernizatsiya Rossii: 1900–2000. [Demographic modernization of Russia: 1900–2000]. Ed. A. Vishnevsky. Moscow, Novoe izdatel'stvo Publ., 2006. 601 p. (In Russ.).

Ezhegodnik Sostoyanie zagryazneniya atmosfery v gorodah na territorii Rossii za 2014 g. [Yearbook The State of Atmospheric Pollution in Cities on the Territory of Russia for 2014]. Sankt-Peterburg: FGBU «GGO», 2015. 288 p. ISBN 978-5-9907420-9-3. (In Russ.).

Ezhegodnik Sostoyanie zagryazneniya atmosfery v gorodah na territorii Rossii za 2015 g. [Yearbook The State of Atmospheric Pollution in Cities on the Territory of Russia for 2015]. Sankt-Peterburg, FGBU «GGO» Publ., 2016. 255 p. (In Russ.).

Ezhegodnik Sostoyanie zagryazneniya atmosfery v gorodah na territorii Rossii za 2016 g. [Yearbook The State of Atmospheric Pollution in Cities on the Territory of Russia for 2016]. Sankt-Peterburg, FGBU «GGO» Publ., 2017. 228 p. ISBN 978-5-9500883-0-8. (In Russ.).

Zabaev I.V.1, Melkumyan E.B.2, Oreshina D.A.3, Pavlyutkin I.V.4, Pruckova E.V. Vliyanie religioznoj socializatsii i prinadlezhnosti k obshchine na rozhdanost'. Postanovka problemy [The impact of religious socialization and community membership on fertility. Formulation of the problem]. *Demoskop Weekly* [Demoskop Weekly], 2013, pp. 553–554. (In Russ.).

Zaharov V.M. Ocenka sostoyaniya bioraznoobraziya i zdorov'ya sredy [Biodiversity condition estimation and health of environment]. *Povolzhskij ekologicheskij zhurnal* [Povolzhskiy Journal of Ecology], 2014, 1, pp. 50–59. (In Russ.).

Korneshov A.A. Faktory smertnosti trudospobnogo naseleniya v period reform [Factors of mortality among the able-bodied population during the reforms]. *Narodonaselenie* [Population], 2010, 1, pp. 19–28. (In Russ.).

Maleva T., Sinyavskaya O. Social'no-ekonomicheskie faktory rozhdanosti v Rossii: empiricheskie izmereniya i vyzovy social'noj politike [Socio-economic factors of fertility in Russia: empirical dimensions and challenges to social policy]. *SPERO* [SPERO], 2006, 5, pp. 76–77. (In Russ.).

Paciorkovskij V.V. Faktory demograficheskogo razvitiya: prostranstvennoe razmeshchenie naseleniya [Factors of demographic development: spatial population placement]. *Narodonaselenie* [Population], 2010, 4, pp. 35–50. (In Russ.).

Pervichnaya profilaktika raka v usloviyah sovremennoj Rossii: Sbornik informacionno-metodicheskikh pisem [Primary prevention of cancer in the conditions of modern Russia: Collection of information and methodological letters]. Moscow: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor Publ., 2011. 88 p. ISBN 978-5-7508-1011-6. (In Russ.). Available at: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293799/4293799626.pdf>. Accessed 03.08.2021.

Revich B.A., Maleev V.V. *Izmeneniya klimata i zdorov'ya naseleniya Rossii: Analiz situatsii i prognoznye ocenki* [Climate change and public health in Russia: Current situation and projections] Moscow: LENAND Publ., 2011. 208 p. ISBN 978-5-9710-0333-5. (In Russ.).

Rybakov D. S. Statisticheskaya ocenka svyazi mezhdu pokazatelyami smertnosti i vybrosami zagryaznyayushchih veshchestv v usloviyah urbanizatsii [Statistical assessment of the relationship between mortality rates and emissions of pollutants in the context of urbanization]. *Principy ekologii* [Principles of the Ecology (scientific journal)], 2014, 1, pp. 59–73. DOI: 10.15393/j1.art.2014.3361. (In Russ.).

Semenova V.G. *Obratnyj epidemiologicheskij perekhod v Rossii* [Reverse epidemiological transition in Russia]. Moscow, CSP Publ., 2005. 235 p.

Tyndik A.O. Reproduktivnye ustanovki naseleniya v sovremennoj Rossii [Reproductive attitudes of the population in modern Russia]. *Demoskop Weekly* [Demoskop Weekly], 2013, pp. 553–554. (In Russ.).

- Fedotova T.K., Gorbacheva A.K. Sootnositel'nyj vklad antropogennyh i prirodnyh faktorov v fenotipicheskoe mnogoobrazie somaticheskikh pokazatelej v podrostkovom i yunosheskom vozraste (po materialam byvshego SSSR) [Correlative contribution of anthropogenic and natural factors to phenotypic diversity somatic traits during adolescence and youth (based on data from former USSR)]. *Moscow University Anthropology Bulletin* [Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya XXIII. Antropologiya], 2020, 4, pp. 5–19. (In Russ.). DOI: 10.32521/2074-8132.2020.4.005-019.
- Air quality in Europe – 2020 report. Copenhagen, European Environment Agency, 2020.* Available at: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>. Accessed 05.08.2021.
- Air pollution and cancer / Eds. K.Straif, A.Cohen, J.Samet. IARC Scientific Publication, 161. *International Agency for Research on Cancer*, 2013. 169 p. ISBN 978-92-832-2166-1. Available at: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Scientific-Publications/Air-Pollution-And-Cancer-2013>. Accessed 25.08.2021.
- Atkinson R.W., Carey I.M., Kent A.J. et al. Long-term exposure to outdoor air pollution and incidence of cardiovascular diseases. *Epidemiology*, 2013, 24 (1), pp. 44–53.
- Burden of disease from ambient air pollution for 2012 — Summary of results.* WHO, 2014. Available at: http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/database/s/AAP_BoD_results_March2014.pdf. Accessed 15.08.2021.
- Cacciottolo M., Wang X., Driscoll I., Woodward N., Saffari A., Reyes J. et al. Particulate air pollutants, APOE alleles and their contributions to cognitive impairment in older women and to amyloidogenesis in experimental models. *Transl Psychiatry*, 2017, 7, e1022; DOI:10.1038/tp.2016.280.
- Conforti A., Mascia M., Cioffi G. et al. Air pollution and female fertility: a systematic review of literature. *Reprod Biol Endocrinol.* 2018, 16, 117. DOI:10.1186/s12958-018-0433-z.
- Heineck G. The relationship between religion and fertility: Evidence for Austria. *Homo Oeconomicus*, 2012, 29, 1, pp. 73–94.
- Hoi K., Zhang D., Mok K., Yuen K. Association of Human Mortality with Air Pollution of Hong Kong. *Toxics*, 2014, 2, pp.158–164. DOI:10.3390/toxics2020158.
- Kampa M., Castanas E. Human health effects of air. *Environmental Pollution*, 2008, 151, pp. 362–367.
- Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths, Press release No 221.* International Agency for Research on Cancer, 2013. Available at: <https://www.iarc.fr/news-events/iarc-outdoor-airpollution-a-leading-environmental-cause-of-cancerdeaths/>. Accessed 15.08.2020.
- Rajaratnam J.K., Marcus J.R., Levin-Rector A., Chalupka A.N., Wang H. et al. Worldwide mortality in men and women aged 15–59 years from 1970 to 2010: a systematic analysis. *The Lancet*, 2010, 375 (9727), pp. 1704–1720.
- Review of evidence on health aspects of air pollution: REVIHAAP project: technical report.* The WHO European Centre for Environment and Health, Bonn, 2013. Available at: https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf. Accessed 05.08.2021.
- Roff D.A. *The Evolution of Life Histories.* N.Y.: Chapman and Hall, 1992. 535 p.
- Stearns S.C. *The Evolution of Life Histories.* Oxford University Press, 1992. 248 p.
- Teriokhin A.T., Thomas F., Budilova E.V., Guegan J.F. The impact of environmental factors on human life-history evolution: an optimization modeling and data analysis study. *Evolutionary Ecology Research*, 2003, 5, pp. 1199–1221.
- WHO Global Ambient Air Quality Database* (update 2018). World Health Organization, 2018. Available at: <https://www.who.int/airpollution/data/en/>. Accessed 15.08.2020.
- Wu X., Nethery R.C., Sabath M.B., Braun D., Dominici F. Exposure to air pollution and COVID-19 mortality in the United States. medRxiv, 2020. Available at: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.04.05.20054502v2.full.pdf>. Accessed 15.08.2020.

Information about Authors

Budilova Elena V., PhD, D.Sc.; ORCID ID: 0000-0003-0769-4570; evbudilova@mail.ru;
Lagutin Michail B.; ORCID ID: 0000-0003-3778-4497; lagutinmb@mail.ru.