

ВЛИЯНИЕ «ЗЕЛЕННЫХ» КРЫШ НА КОНЦЕНТРАЦИЮ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ $PM_{2,5}$ И PM_{10} В КРУПНЫХ ГОРОДАХ РОССИИ

Елена Владимировна Сысоева, Евгений Леонидович Безбородов

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ); г. Москва, Российская Федерация

Актуальность. Снижение уровня загрязнения атмосферного воздуха в городах и других населенных пунктах, предотвращение дальнейшего ухудшения экологической ситуации и устранение негативных последствий человеческой деятельности на окружающую среду являются одними из основных требований стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года. Проблема загрязнения воздуха мелкодисперсными частицами $PM_{2,5}$ и PM_{10} является актуальной для большей части крупных городов России и всех других стран.

Цели и задачи. В крупных городах Российской Федерации выявить основные тенденции по изменению численного состава населения, определить влияние миграционных процессов и естественного прироста/убыли жителей рассматриваемых населенных пунктов; изучить статистику роста заболеваемости по болезням, причинами которых может быть загрязнение атмосферы мелкодисперсными частицами.

Материалы и методы. За основу были приняты данные Федеральной службы государственной статистики и материалы из других открытых источников по исследуемым территориям. Исследования проводились в двух городах РФ и их областях, сходных по численности населения и основным климатическим параметрам: Рязани и Пензе.

Результаты. Обработанные материалы были сведены в графики и гистограммы, проанализированы и определены тенденции по изменению численности населения и роста основных заболеваний среди жителей регионов. Рассмотрены возможные причины, влияющие на описанные тенденции. Определены направления, которые позволят улучшить экологическую обстановку в данных регионах. Рассмотрен мировой опыт влияния зеленых насаждений на изменение концентрации частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} в окружающей среде.

Выводы. Одним из направлений, способствующих улучшению качества окружающей среды и уменьшению концентрации мелкодисперсных частиц, является увеличение площади зеленых насаждений, в том числе и применение «зеленых» крыш. В статье описаны основные направления финансового обоснования устройства «зеленых» крыш в массовом строительстве. Данные решения могут быть использованы для крупных городов Российской Федерации, схожих по основным климатическим характеристикам с исследованными областями.

Ключевые слова: мелкодисперсные частицы, плотность населения, демографический кризис, экологическая безопасность, концентрация загрязняющих веществ, демографическая обстановка

Для цитирования: Сысоева Е.В., Безбородов Е.Л. Влияние «зеленых» крыш на концентрацию мелкодисперсных частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} в крупных городах России // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии 2024. № 3. С. 82–95. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.3.82-95

THE EFFECT OF GREEN ROOFS ON THE CONCENTRATION OF FINE PARTICLES $PM_{2,5}$ AND PM_{10} IN LARGE CITIES OF RUSSIA

Elena V. Sysoeva, Evgeny L. Bezborodov

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation

Relevance. Reducing the level of atmospheric air pollution in cities and other settlements, preventing further deterioration of the environmental situation and eliminating negative effects of human activity on the environment are among the main requirements of the environmental safety strategy of the Russian Federation for the period up to 2025. The problem of air pollution with fine dust particles $PM_{2,5}$ and PM_{10} is relevant for most coastal cities of Russia and the whole Planet.

Goals and objectives. To analyze the large cities of the Russian Federation and identify the main trends in the change in the numerical composition of the population, to determine the impact of migration processes and the natural increase/decrease of residents of the considered settlements. It was studied the statistics of the increase in the incidence of diseases, the causes of which may contribute to atmospheric pollution with fine particles.

Materials and methods. The data of the Federal State Statistics Service and materials from other open sources on the studied territories

were used as a basis. The studies were conducted for two cities of the Russian Federation and their regions, similar in population and basic climatic parameters. The first city is Ryazan, the second is Penza.

Results. The processed materials were summarized in graphs and histograms, analyzed and identified trends in population change and the growth of major diseases among residents of the regions. The possible reasons influencing the described trends are considered. The directions that will improve the environmental situation in the regions under consideration have been identified. The world experience of the influence of green spaces on changes in the concentration of particles $PM_{2.5}$ and PM_{10} in the environment is considered.

Conclusions. One of the directions contributing to improving the quality of the environment and reducing the concentration of fine particles is to increase the area of green spaces, including the use of "green" roofs. The article describes the main directions of financial justification for the installation of "green" roofs in mass construction. These solutions can be used for large cities of the Russian Federation that are similar in basic climatic characteristics to the studied areas.

Keywords: fine particles, population density, demographic crisis, environmental safety, concentration of pollutants, demographic situation

For citation: Sysoeva E.V., Bezborodov E.L. The effect of green roofs on the concentration of fine particles $PM_{2.5}$ and PM_{10} in large cities of Russia. *Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology*. 2024; 3:82-95. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.3.82-95 (rus.).

Введение

На основании требований Указа Президента РФ¹ основными задачами государственной политики в области экологической безопасности являются внедрение новых и экологически безопасных технологий, создание производств с минимальным воздействием на природу, снижение уровня загрязнения атмосферного воздуха в городах и других населенных пунктах, предотвращение дальнейшего ухудшения экологической ситуации и устранение негативных последствий человеческой деятельности на окружающую среду.

Согласно данным ЮНЕП, загрязнение воздуха, в том числе мелкодисперсными частицами, — это фактор, являющийся причиной 25 % заболеваний людей по всей планете. Наиболее распространены из них являются болезни, связанные с нарушениями в работе ЖКТ, болезни органов дыхания и острые респираторные инфекции. Низкое качество водных ресурсов и плохие санитарные условия являются причинами 7 % заболеваний и смертей. Особенно это актуально в крупных мегаполисах. Так, в Москве данная проблема затрагивает свыше одного миллиона человек. При этом загрязнение воздуха мелкодисперсными частицами является причиной еще примерно 5 % случаев летальных исходов, что соответствует более 655 000 смертей.

Практически все жители Земли (почти 99 %) сталкиваются с загрязненным воздухом, загрязнение превышает предельно допустимые концентрации, установленные Всемирной организацией здравоохранения, что представляет риск для здоровья. В настоящее время мониторинг качества воздуха осуществляется более чем в 6000 городах, в 117 странах. Несмотря на принимаемые меры, жители этих городов продолжают дышать воздухом, содержащим чрезмерное количество частиц $PM_{2.5}$ и PM_{10} . Отдельно необходимо отметить, что наибольшему негативному воздействию загрязнения подвергаются жители стран с низким и средним доходом. Так, в странах с высоким

уровнем дохода в 17 % городов уровень содержания мелкодисперсных частиц $PM_{2.5}$ и PM_{10} превышает нормативные требования ВОЗ. В странах с низким или средним уровнем дохода качество воздуха по аналогичным показателям не соответствует требованиям в 99 % городов.

Данные выводы побудили ВОЗ обратить особое внимание на мероприятия, связанные с ограничением загрязнения воздуха. Среди рекомендаций, направленных правительству стран с наихудшим состоянием атмосферы, предложены следующие шаги:

- осуществлять мониторинг качества воздуха и выявлять источники загрязнения воздуха;
- содействовать переходу к использованию только экологически чистой бытовой энергии для приготовления пищи, отопления и освещения;
- создавать безопасные и доступные по ценам системы общественного транспорта, а также маршруты движения, удобные для пешеходов и велосипедистов;
- внедрять более строгие стандарты выбросов и эффективности транспортных средств, а также обеспечивать выполнение требования по обязательному прохождению техосмотра и технического обслуживания;
- направлять инвестиции в энергоэффективное жилье и производство электроэнергии и т.д.²

Как видно, каждое из предложенных решений может быть актуальным для городов Российской Федерации, так как число заболеваний, связанных с загрязнением воздуха, неуклонно растет.

Мелкие частицы пыли оседают в дыхательных путях, нанося вред легким и проникая в кровотоки. Это усугубляет вероятность развития ишемической болезни сердца, инсульта, хронической обструктивной болезни легких и инфекций нижних отделов дыхательной системы. Эти заболевания входят в число четырех самых значительных причин смертности в мире. На шестом месте в этом печальном

¹ О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года : Указ Президента Российской Федерации от 19.04.2017 № 176. Москва, Кремль, 19.04.2017.

² Миллиарды людей по-прежнему дышат нездоровым воздухом: новые данные ВОЗ. URL: <https://www.who.int/ru/news/item/04-04-2022-billions-of-people-still-breathe-unhealthy-air-new-who-data> (дата обращения: 02.09.2024).

списке находится рак трахеи, бронхов и легких, который также может быть обусловлен загрязнением воздуха.

Увеличение концентрации мелкодисперсных твердых частиц связано с изменением площади городов и увеличением численности населения. Как первый, так и второй факторы имеют общемировую тенденцию, что приводит к сокращению зеленых насаждений, увеличению площадей с «твердым» покрытием, повышению концентрации загрязняющих веществ от выбросов, связанных с увеличением интенсивности дорожного движения, промышленным производством и сжиганием топлива для обогрева зданий. Это приводит к нарушению экосистемы, что влияет на экологическое состояние городов [1].

Большинство городов, представленных в таблице, являются промышленными, специализирующимися на добыче полезных ископаемых, что является основной причиной огромного количества выбросов вредных веществ. Но нельзя игнорировать и сопутствующие источники загрязнения воздуха, такие как интенсивное дорожное движение и сжигание топлива, для выработки энергии и обогрева зданий. Данный вопрос широко исследуется учеными всего мира, так как описанные факторы являются проблемными для большинства крупных городов [2, 3].

Преобразовать негативное воздействие антропогенной нагрузки на качество воздуха возможно. На это может значительно повлиять экономическое и социальное развитие города. Ярким примером могут служить крупные города Германии и отдельных штатов США [4]. Исследования экологической ситуации в этих районах показали, что, несмотря на увеличение площади городов и численности населения, уровень концентрации частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} не только не увеличился, но в ряде случаев даже сни-

Города РФ с наиболее загрязненной атмосферой³

Город	Объем вредных выбросов в атмосферу, т/год
Норильск	1 800 000
Череповец	270 000
Новокузнецк	263 000
Липецк	262 000
ПГТ Рефтинский	255 000
Междуреченск	198 000
Магнитогорск	173 000
Воркута	168 000
Иркутск	132 000
Уфа	132 000

³ URL: <https://www.sravni.ru/novost/2023/4/5/opublikovan-antirejting-samyh-gryaznyh-gorodov-rossii/?upd=true>

зился. Это явление связывают с повышенным уровнем озеленения в упомянутых городах. Многочисленные исследования подтверждают положительное влияние зеленых насаждений на состояние окружающей среды, в том числе на снижение концентрации мелкодисперсных частиц в воздухе [5].

Анализ климата и демографической обстановки в Рязанской области

Рязанская область находится в центре Европейской части России. Она расположена в пониженной зоне, между Среднерусской и Приволжской возвышенностями. Ее административным центром является город Рязань. По состоянию на 1 января 2023 г. общая численность его населения составляет 523,3 тысячи человек⁴. Население всей Рязанской области составляет 1 082 231 человек, с учетом городских и сельских жителей.

Климатический район Рязанской области — П. Климат — умеренно-континентальный, что характеризуется теплым летом и умеренно-суровой снежной зимой. Средняя продолжительность летнего (теплого) периода составляет 3,5 месяца, с 17 мая по 2 сентября. Наиболее теплый месяц — июль. Средняя месячная температура наиболее теплого месяца + 19,1 °С. Температура воздуха обеспеченностью 0,95 составляет 24 °С⁵.

Продолжительность холодного периода 3,9 месяца, с 15 ноября по 12 марта. Наиболее холодный месяц — январь. Средняя месячная температура наиболее холодного месяца составляет -9,0 °С. Температура воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 составляет -25 °С.

Годовая сумма осадков составляет от 600 до 700 мм. Порядка 70 % осадков выпадает в теплый период. Наиболее влажный сезон длится 5,4 месяца, с 28 мая по 8 ноября. Месяц с наибольшим количеством дождей — июнь, в течение которого на протяжении 9 дней выпадает не менее 1 мм осадков. Месяцем с наименьшим количеством осадков является март.

Осадки в виде снега выпадают в регионе в течение 3,4 месяцев, с 29 ноября по 13 марта. Наиболее снежным месяцем является январь. Высота снежного покрова к концу зимнего периода достигает 250–380 мм, в наиболее снежные зимы до 620 мм. Распределение осадков в зимний период сильно зависит от географического расположения населенного пункта в области⁶.

⁴ Рязанская городская Дума. URL: <https://rgdrzn.ru/pages/show/about> (дата обращения: 04.09.2024).

⁵ СП 131.13330.2020. СНиП 23-01-99*. Строительная климатология. Утв. приказом МИНСТРОЙ России от 24.12.2020 № 859. Введ. в действ. с 24.12.2020. С. 36–37.

⁶ Климат и средняя погода в Рязани. URL: <https://ru.weatherspark.com/y/101474/Обычная-погода-в-Рязань-Россия-весь-год> (дата обращения: 04.09.2024).

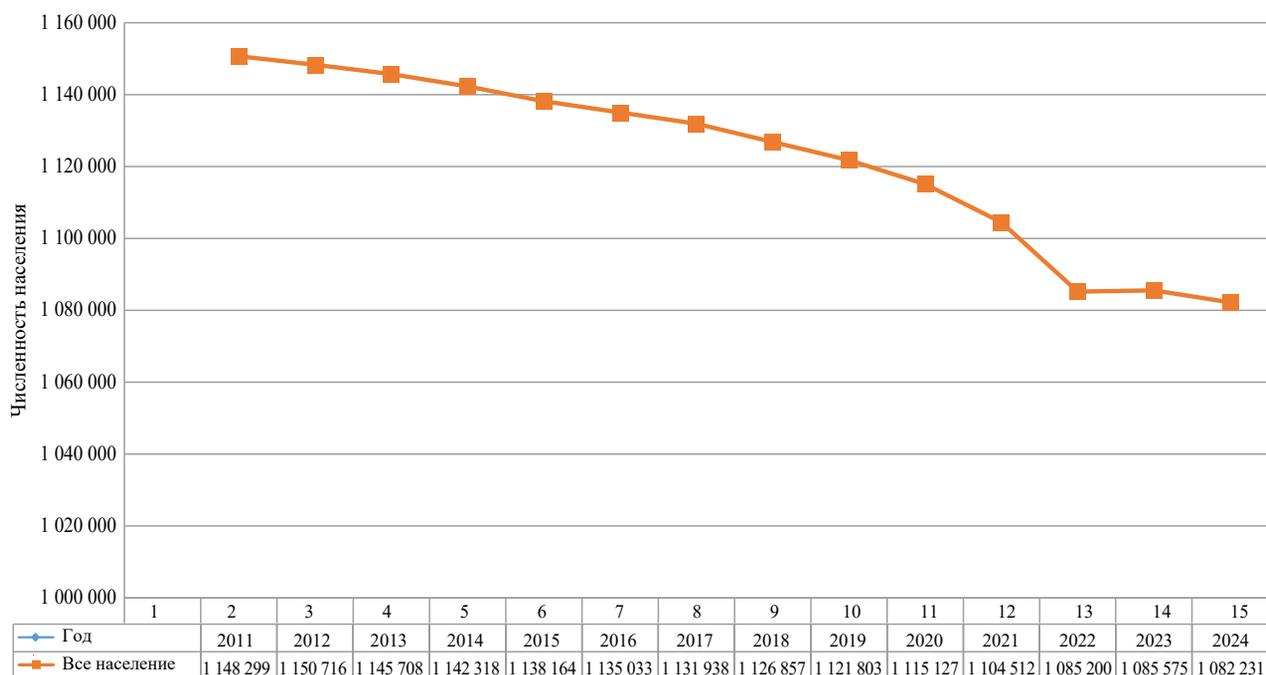


Рис. 1. Динамика численности населения в Рязанской области⁷



Рис. 2. Общий прирост/убыль населения Рязанской области^{8ф}

Для Рязанской области характерны такие опасные природные явления, как сильные ветра, весенние паводки и торфяные пожары.

Общая численность населения Рязанской области на 1 января 2024 года составляет 1 082 231 человек. Из них 772 290 являются жителями городов, а 309 941 человек проживают в сельских поселениях.

⁷ Росстат. URL: <https://62.rosstat.gov.ru/folder/30448?ysclid=m3r3v-103cx110875500>

⁸ Росстат. URL: <https://62.rosstat.gov.ru/folder/30448?ysclid=m3sn-pw10s7515565667>

Как видно из рис. 1, на протяжении последнего десятилетия наблюдается устойчивая тенденция по ежегодному снижению численности населения.

Только за 10 лет исследуемого периода с 2011 по 2021 г. (рис. 2) численность населения сократилось на 46 204 человека. То есть в среднем за год население области сокращалось на 4,5 тысячи человек. А с 2021 по 2024 г. убыль населения составила 22 281 человек, что соответствует ежегодному значению в 7,4 тысячи. Данная тенденция свойственна большинству крупных городов Российской Федерации [6].

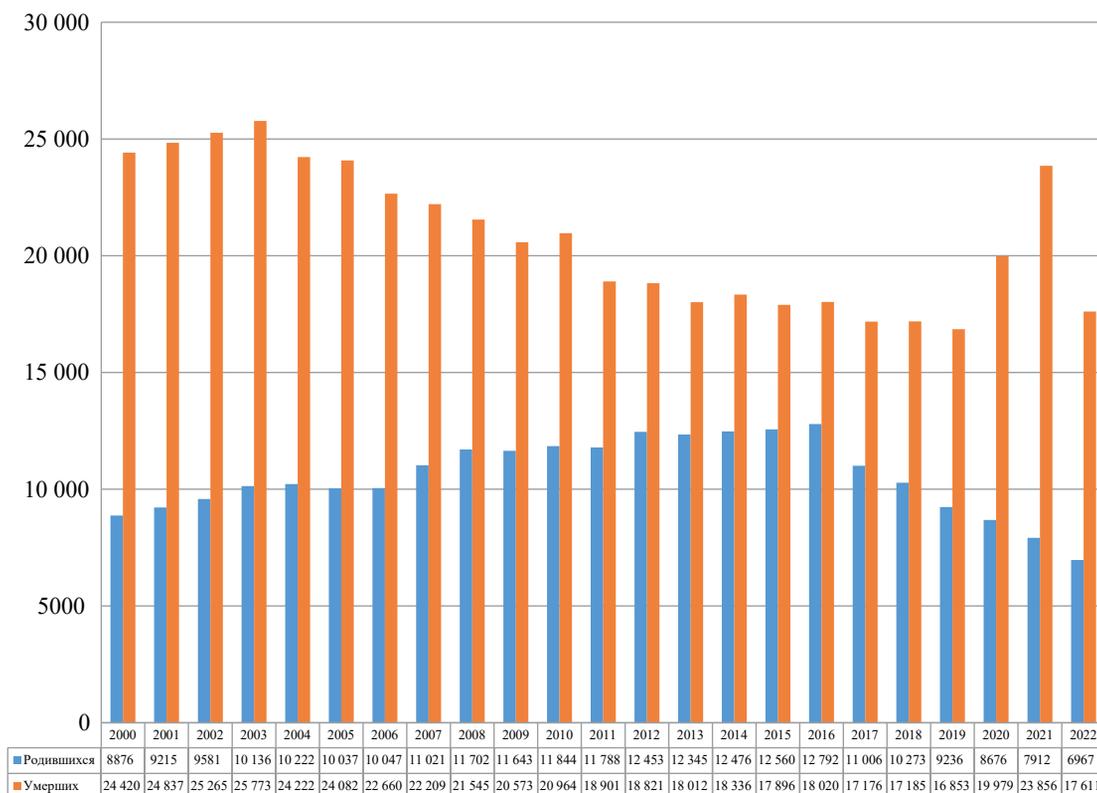


Рис. 3. Показатели рождаемости и смертности Рязанской области с 2000 по 2022 г.⁹

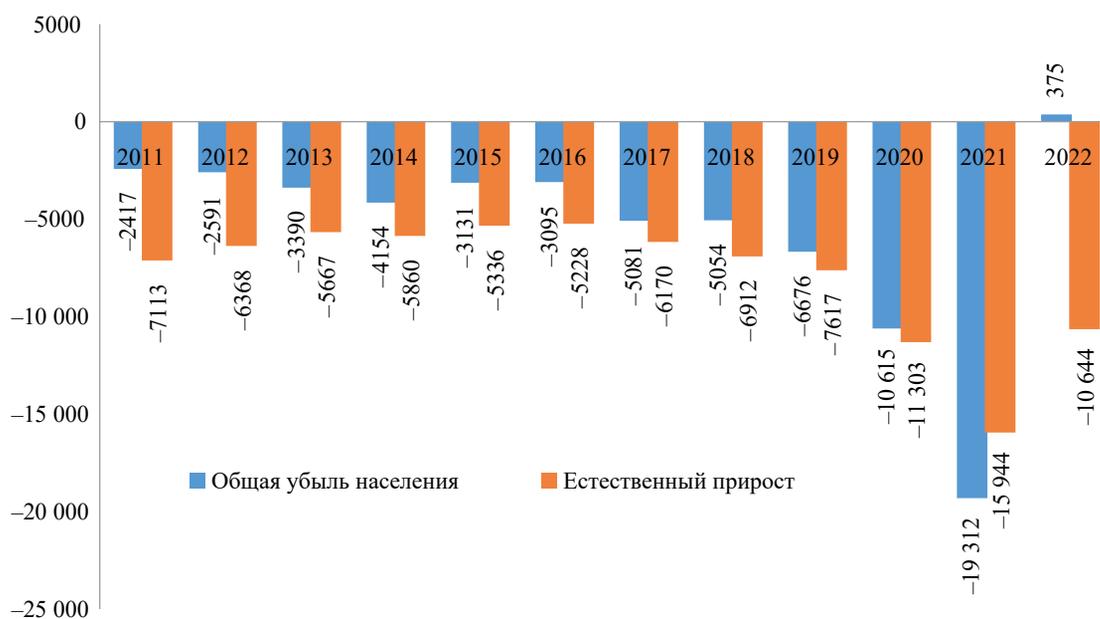


Рис. 4. Изменение численности населения в Рязанской области с 2011 по 2022 г.⁷

Анализируя данные, представленные на рис. 3, можно наблюдать планомерный рост рождаемости в период с 2000 по 2016 г., причем наибольший прирост год к году не превышал одной тысячи новоро-

жденных. Начиная с 2016 г., можем наблюдать резкое снижение числа новорожденных. В период с 2016 по 2022 г. уровень рождаемости снизился практически в два раза. По уровню количества умерших за исследуемый период наблюдается некоторое снижение. Наименьшее значение наблюдается в период с 2011

⁹ Росстат. URL: <https://62.rosstat.gov.ru/folder/30448?ysclid=m3r5-092 t9e20932090>

по 2019 г. Резкое увеличение смертей в 2020–2021 гг. может быть связано с периодом пандемии COVID-19. Несмотря на улучшение показателей по уровню смертности в 2022 г. до 17 611 человек, общий уровень естественного прироста находится в отрицательной зоне, за счет низкой рождаемости — только 6967 новорожденных.

При сравнении данных по отрицательному естественному приросту населения и динамики численности жителей Рязанской области, представленных на рис. 4, можно сделать следующие выводы.

На протяжении всего исследуемого периода тенденции по изменению количества жителей, связанные с «естественными» причинами, и динамика изменения общей убыли населения не совпадают. Смертность населения превышала показатели общей убыли в два-три раза практически на всем отрезке времени наблюдений. Из чего можно сделать вывод, что в изменении численности населения Рязанской области большую роль играют миграционные процессы. Описанные показатели не вписываются в актуальные требования Указа Президента Российской Федерации¹⁰.

Одним из периодов, выходящих за рамки устоявшейся тенденции, являются показатели 2021 г., в котором общая численность населения области уменьшилась на 19 312 человек, за тот же период естественная убыль населения составила 15 944 человека. Разница составляет 3368 человек. Данные изменения можно отнести к постпандемийному периоду и связанным с ним ограничениям.

Таким образом, проведя анализ изложенных выше материалов по Рязанской области, можно сделать следующие выводы:

- наблюдается демографический кризис;
- число смертей за исследуемый период значительно превышает число новорожденных;
- ежегодно происходит уменьшение общей численности населения;
- разница между естественной убылью и общей численностью населения дополнительно усугубляется за счет миграционных процессов.

Анализ климата и демографической обстановки в Пензенской области

Пензенская область находится в Среднем Поволжье. Она расположена на Восточно-Европейской (Русской) равнине. Ее административным центром является город Пенза. По состоянию на 1 января 2024 г. общая численность его населения составляет 488,2 тысячи человек. Население всей Пензенской области составляет 1 236 113 человек, с учетом городских и сельских жителей.

Климатический район Пензенской области — II, климатический подрайон — ПВ. Климат — умеренно-континентальный, что характеризуется жарким засушливым летом и умеренно-суровой снежной зимой. Средняя продолжительность летнего (теплого) периода составляет 3,8 месяца, с 11 мая по 6 сентября. Наиболее теплый месяц — июль. Средняя месячная температура наиболее теплого месяца +19,8 °С. Температура воздуха обеспеченностью 0,95 составляет 24 °С.

Продолжительность холодного периода 4,0 месяца, с 17 ноября по 15 марта. Наиболее холодный месяц — январь. Средняя месячная температура наиболее холодного месяца составляет –9,8 °С. Температура воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 составляет –27 °С.

Годовая сумма осадков составляет от 450 до 500 мм. В засушливые годы она может понижаться до 350 мм, а в дождливые годы повышается до 775 мм. Порядка семидесяти процентов осадков выпадает в теплый период. Наиболее влажный сезон длится 8,2 месяца, с 23 марта по 28 ноября. Месяц с наибольшим количеством дождей — июнь, со средним количеством осадков 47 мм.

Осадки в виде снега выпадают в регионе в течение 5,8 месяцев, с 18 октября по 11 апреля. Наиболее снежным месяцем является январь, со средним количеством снега 142 мм. Высота снежного покрова к концу зимнего периода достигает 350–400 мм, в наиболее снежные зимы до 500 мм. Распределение осадков в зимний период сильно зависит от географического расположения населенного пункта, с наименьшей интенсивностью в западной части и наибольшей в центральной и северной области.

Для Пензенской области характерны такие опасные природные явления, как сильные ветра, выпадение обильных осадков, сильные снегопады и метели, весенние, а также летние и осенние засухи.

Общая численность населения Пензенской области на 1 января 2024 года составляет 1 236 113 человек. Из них 851 348 являются жителями городов, а 384 765 человек проживают в сельских поселениях. Как видно из рис. 5, на протяжении последнего десятилетия наблюдается устойчивая тенденция по ежегодному снижению численности населения.

Анализируя данные на рис. 6, можно заключить, что только за последние годы исследуемого периода с 2011 по 2021 г. общая численность населения сократилось на 93 100 человек. То есть в среднем за год население области сокращалось на 9310 человек. А с 2021 по 2024 г. убыль населения составила 54 800 человек, что соответствует ежегодному значению в 13 700 жителей региона.

¹⁰ О национальных целях развития РФ на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года : Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 № 309. Москва, Кремль, 07.05.2024.

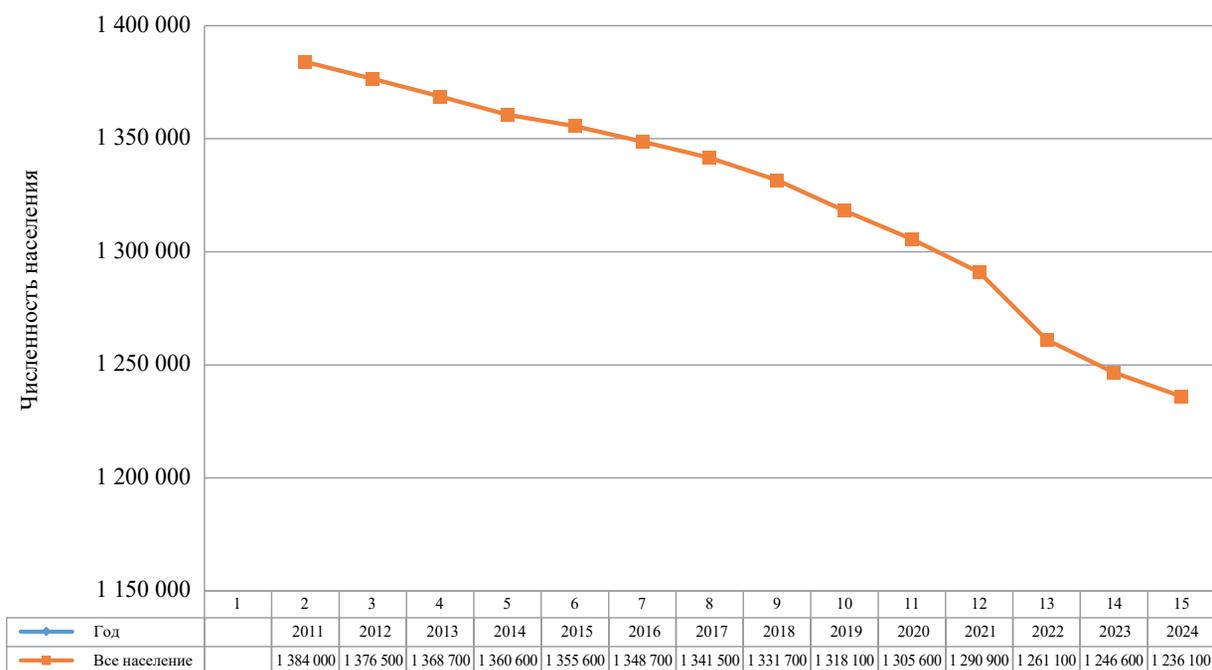


Рис. 5. Динамика численности населения в Пензенской области¹¹

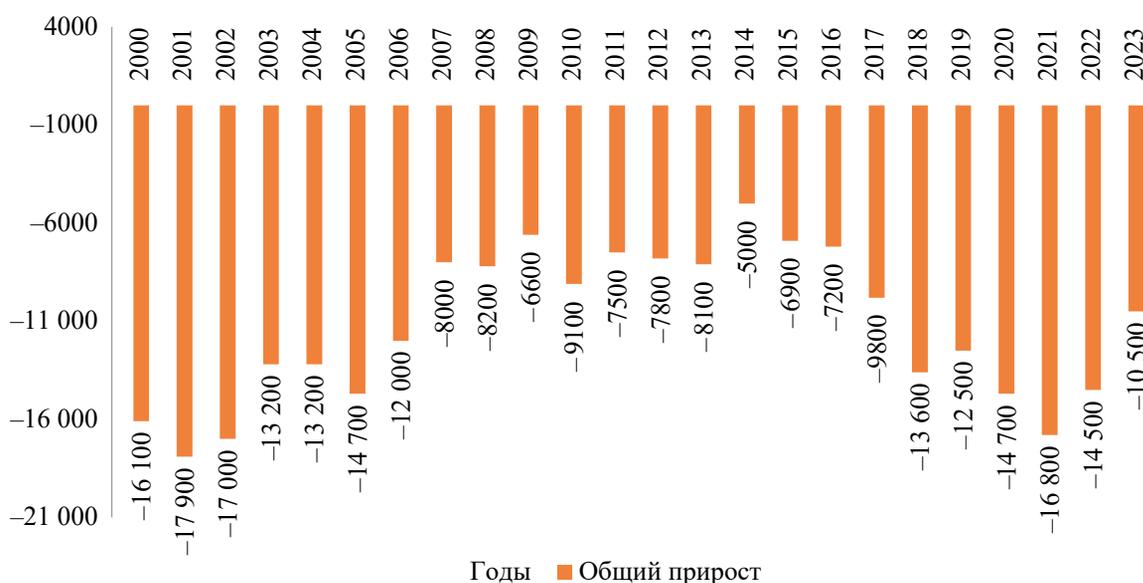


Рис. 6. Общий прирост/убыль населения Пензенской области¹¹

Анализируя данные на рис. 7, можно наблюдать незначительный рост рождаемости в период с 2000 по 2014 г., причем ежегодный прирост не превышал 500–600 новорожденных. Начиная с 2015 г. наблюдается резкое снижение количества родившихся детей. В период с 2016 по 2022 г. уровень рождаемости снизился практически в два раза.

По уровню количества умерших, в период с 2000 по 2019 г., наблюдается устойчивое снижение. Наименьшее значение зафиксировано в период с 2013

по 2019 г. Резкое увеличение смертей в 2020–2021 гг. может быть связано с периодом пандемии COVID-19.

Несмотря на улучшение показателей по уровню смертности в 2023 г. до 18 419 человек, общий уровень естественного прироста находится в отрицательной зоне за счет низкой рождаемости — только 8249 новорожденных.

При сравнении данных по отрицательным значениям естественного прироста населения и общей численности жителей Пензенской области, представленных на рис. 8, можно сделать следующие выводы.

¹¹ URL: <https://58.rosstat.gov.ru/demography>

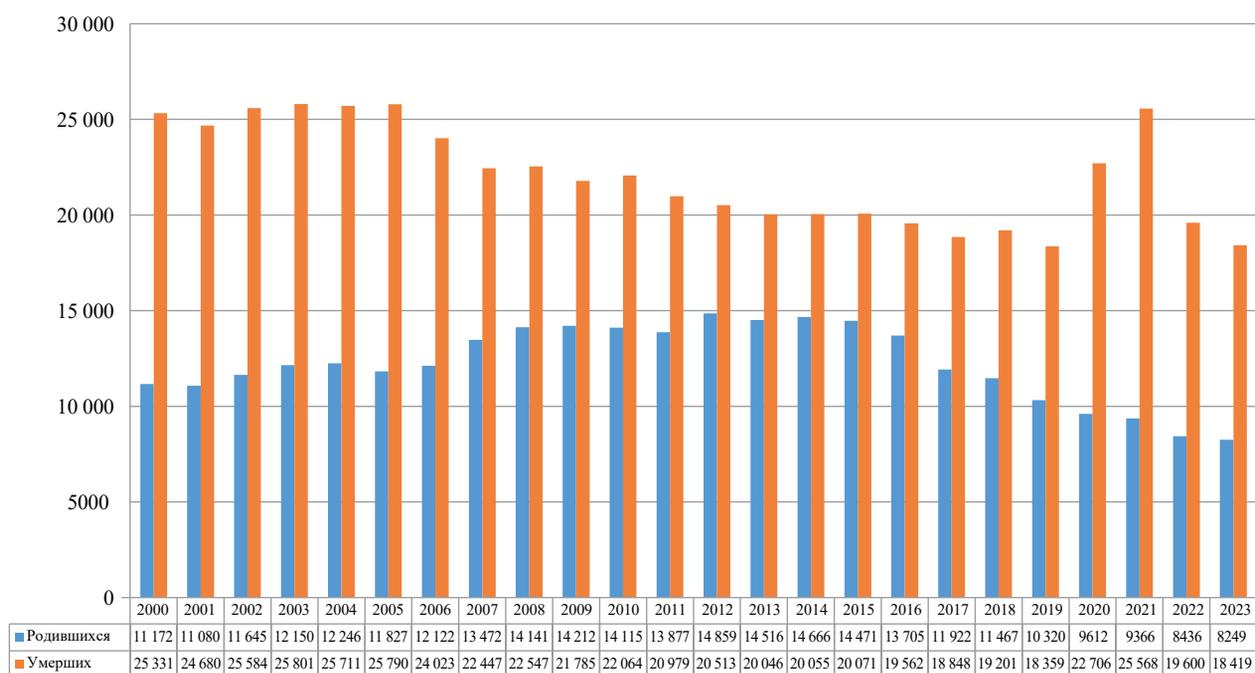


Рис. 7. Показатели рождаемости и смертности Пензенской области с 2000 по 2023 г.¹¹

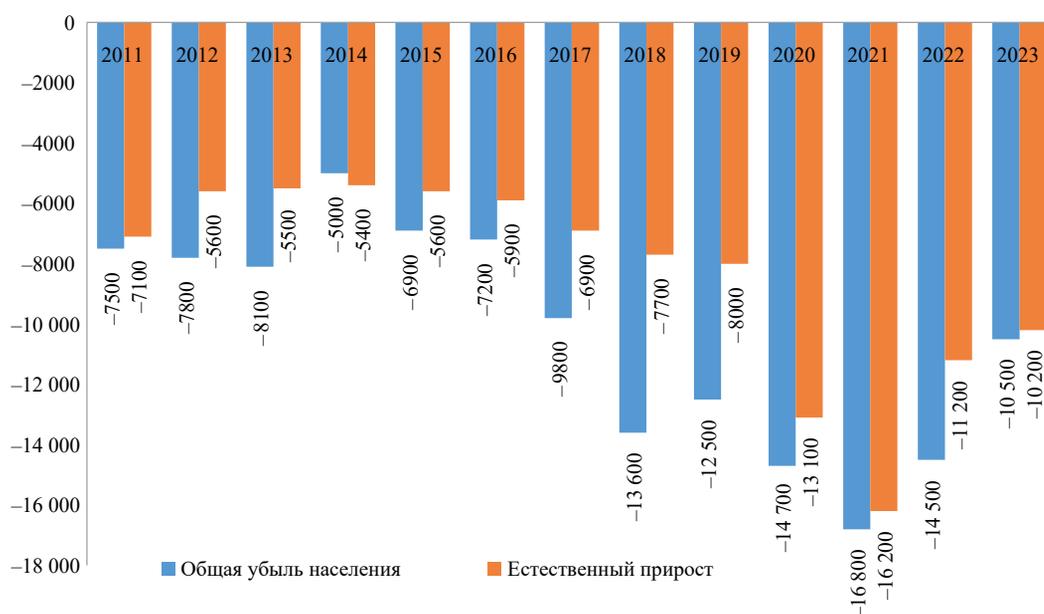


Рис. 8. Изменение численности населения в Пензенской области с 2011 по 2023 г.¹¹

При рассмотрении исследуемого временного периода наблюдений изменения в численности населения, связанные с «естественными» причинами, не совпадают с динамикой общей убыли. Уровень общей убыли значительно превышал показатели отрицательного прироста, что наблюдалось на протяжении почти всего исследуемого времени. Это позволяет заключить, что процессы, связанные с оттоком населения в другие регионы Российской Федерации, играют важную роль в изменении численности населения Пензенской области.

Таким образом, проведя анализ представленных выше данных по Пензенской области, можно сделать следующие выводы:

- наблюдается кризис в сфере демографии;
- количество смертей за рассматриваемый период значительно превышает число родившихся;
- ежегодно фиксируется сокращение общей численности населения;
- разница между естественным уменьшением населения и его общей численностью усугубляется в результате миграционных процессов.

Анализ роста заболеваемости в Рязанской и Пензенской областях

В настоящее время большое внимание уделено развитию здравоохранения на всей территории Российской Федерации. Открываются новые медицинские пункты, проводятся капитальные ремонты существующих зданий с заменой инженерных коммуникаций и установкой нового современного медицинского оборудования. Выполняются государственные программы по привлечению специалистов медицинского профиля в различные территории РФ. Несмотря на принимаемые меры, с каждым годом наблюдается общая тенденция к росту заболеваний населения. Наиболее негативная картина складывается в крупных населенных пунктах. В том числе это связано с внутренней миграцией жителей сельской местности в крупные города. Приток населения приводит к необходимости возведения новых жилых и общественных зданий, увеличения площадей проездов, шоссе, парковок, площадок сбора ТБО и иных поверхностей с твердым покрытием. При этом уменьшается площадь зеленых насаждений, играющих значительную роль в экологической обстановке городов [7]. Современные подходы к «зеленому» строительству нацелены на создание биосферной совместимости возводимых объектов [8], но, к сожалению, в массовое строительство данное направление еще не внедрено.

В данной статье рассмотрим статистические данные по заболеваниям органов дыхания, эндокринной системы, болезни крови и кроветворных органов, болезни нервной системы. Анализ будем проводить для двух регионов Российской Федерации: Рязанской и Пензенской областей. Виды анализируемых болезней выбраны неслучайно, так как их этиология тесно связана с загрязнением воздуха мелкодисперсными частицами. Особое негативное влияние на развитие данных видов болезней оказывают частицы $PM_{2,5}$ и PM_{10} .

Анализируя данные с графика, представленного на рис. 9, можно сделать выводы, что за последнее время (с 2019 по 2022 г.) в Рязанской области число выявленных жителей с болезнями крови

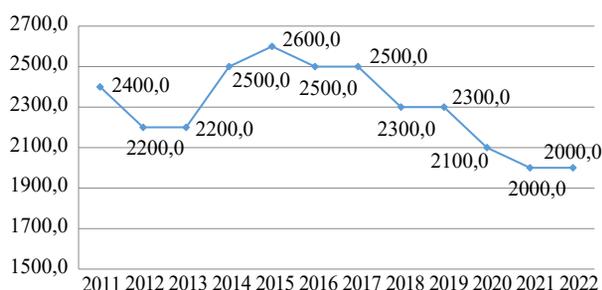


Рис. 9. Число заболевших (впервые выявленный диагноз) болезнями крови и кроветворных органов в 2011–2022 гг. в Рязанской области⁷



Рис. 10. Число заболевших (впервые выявленный диагноз) болезнями органов дыхания в 2011–2022 гг. в Рязанской области⁷

и кроветворных органов планомерно уменьшается. Но остается на среднем уровне 2012–2013 гг. Наивысший пик заболеваемости приходится на 2015 г. и составляет 2600 человек. Несмотря на незначительное снижение (порядка 100 человек в год), уровень заболевания крови и кроветворных органов находится на достаточно высоком уровне.

Рассмотрим данные графика, представленного на рис. 10, иллюстрирующего уровень заболевания органов дыхания в Рязанской области. К сожалению, негативная тенденция ежегодного увеличения числа больных сохраняется на протяжении всего периода исследования, и к 2022 г. был достигнут максимум заболевших — 417 900 человек, что составляет практически 50 % от всех жителей области. Приведенные данные не оставляют надежду на улучшение общей картины заболеваемости, так как промышленный комплекс Рязанской области является одним из составляющих экономического потенциала региона. На долю производства приходится 29,6 % ВВП. В промышленности занято 133 600 человек, что составляет 23,3 % от общей численности населения, занятого в экономике¹². В основном это обрабатывающее производство, генерация и распределение электроэнергии, газа и воды, организация сбора и утилизация отходов, в меньшей степени добыча полезных ископаемых. Все описанные выше производства негативно влияют на окружающую среду, в том числе генерируют загрязнение воздуха мелкодисперсными частицами, являющимися причинами многих респираторных заболеваний. Необходимо принимать неотложные меры по улучшению экологической обстановки в регионе.

По числу болезней нервной системы наблюдается незначительная положительная динамика. Так, в соответствии с данными на рис. 11, по состоянию на начало исследуемого периода (на 2011 г.) и к 2020 г. число заболевших снизилось на 4100 человек. Однако

¹² Промышленность Рязанской области : курс на развитие. URL: <http://opp.gp-media.ru/2023/11/16/промышленность-рязанской-области-ку/?ysclid=m0ca0eu16491088087> (дата обращения: 07.09.2024).

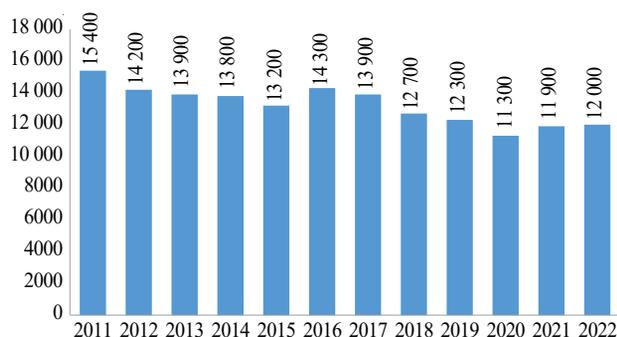


Рис. 11. Число заболевших болезнями нервной системы в 2011–2022 гг. в Рязанской области⁷

за последние два года это число увеличилось на 700 человек, что говорит о развороте негативного тренда.

Связь между мелкодисперсными частицами $PM_{2,5}$ и PM_{10} , загрязняющими воздух, и заболеваниями эндокринной системы человека на данный момент установлена. Не исключено, что именно негативное влияние загрязняющих веществ влияет на негативную тенденцию увеличения заболевания в Рязанской области. Как видно из графика на рис. 12, наибольшее значение зафиксированных случаев заболевания пришлось на 2016 г. и составило 18 000 человек. Далее происходило некоторое снижение числа заболевших и минимальное значение было зафиксировано в 2020 г., равное 11 500 человек. Но далее наблюдается ежегодный прирост и к 2022 г. общее число составило 16 200 заболевших. То есть, как и по анализу предыдущих заболеваний, общая тенденция негативная.

Проанализировав представленную выше информацию по выбранным видам заболеваний в Рязанской области, можно сделать следующие выводы:

- динамика заболеваний жителей региона болезнями крови и кроветворных органов имеет положительную тенденцию. Их число незначительно, но сокращается;
- число жителей с болезнями нервной системы за весь период наблюдений сокращается, но за последние два года наблюдается незначительно увеличение числа больных;

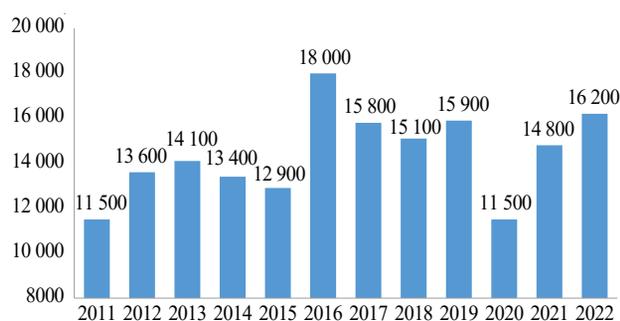


Рис. 12. Число заболевших болезнями эндокринной системы в 2011–2022 гг. в Рязанской области⁷

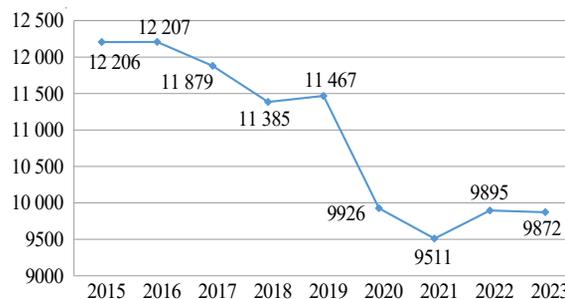


Рис. 13. Число заболевших болезнями крови и кроветворных органов с 2015 по 2023 г. в Пензенской области¹³

- за последние три года (начиная с 2020 г.) наблюдается резкое увеличение числа заболеваний, связанных с эндокринной системой и болезнями органов дыхания. Особую обеспокоенность вызывает последний тип заболеваний, так как от него страдает практически 50 % от всех жителей Рязанской области.

Отдельно стоит отметить тенденцию, связанную с одновременным уменьшением количества заболевших от рассматриваемых недугов, в период с 2019 по 2020 г. Возможно, данный факт связан с ковидными ограничениями, при которых большинство промышленных предприятий не функционировало, а движение автотранспорта по дорогам снизилось до минимума. Данные явления положительно повлияли на чистоту воздуха и уменьшили концентрацию мелкодисперсных частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} , провоцирующих данные заболевания.

Анализируя данные из графика на рис. 13, можно отметить, что в последние годы (с 2019 по 2022 г.) в Пензенской области наблюдается стабильное снижение среди населения числа выявленных заболеваний, связанных с кровью и кроветворными органами. Наивысшие значения заболеваемости фиксируются в 2016 г. — 12 207 человек. В период с 2021 по 2022 г. наблюдался рост числа заболевших на 384 человека. Несмотря на небольшое снижение (23 случая за последний год исследования), уровень заболеваний крови и органов кроветворения продолжает оставаться значительным.

Анализируем график, приведенный на рис. 14, который демонстрирует число заболевших болезнями органов дыхания в Пензенской области. К сожалению, продолжается негативная тенденция к ежегодному росту числа заболевших, и к 2020 г. число заболевших достигло наивысшей отметки — 507 055 человек, что составляет почти 50 % от общего количества населения области. Эти данные не внушают оптимизма относительно возможного улучшения ситуации с заболеваемостью, так как в промышлен-

¹³ Росстат. URL: https://58.rosstat.gov.ru/health_service



Рис. 14. Число заболевших (впервые выявленный диагноз) болезнями органов дыхания в 2015–2023 гг. в Пензенской области¹³

ном секторе Пензенской области обрабатывающая промышленность составляет 89,4 % общего объема.

В промышленности занято 110 000 человек. В структуру обрабатывающего сектора включены пищевая промышленность (41,3 %), машиностроение (22,6 %), металлургия (11,1 %), деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность (9,2 %), мебельное производство (6,5 %), изготовление строительных материалов (4 %) и т.д.

Все перечисленные виды производства оказывают негативное воздействие на атмосферу, в том числе способствуют образованию мелкодисперсных частиц, которые становятся причиной множества заболеваний органов дыхания.

Среди заболеваний нервной системы отмечается значительная динамика по увеличению числа заболевших (рис. 15). Число больных по состоянию на 2023 г. практически сравнялось с максимальными значениями на начало периода исследований. Минимальное число заболевших приходится на 2020 г. и составляет 41 818 человек. Но по состоянию на 2023 г. это число больных увеличилось на 9304 человека. И кривая заболеваний продолжает расти.

Вероятно, что отрицательное воздействие мелкодисперсных частиц в атмосфере способствует росту числа заболеваний эндокринной системы в Пензенской области. На представленном графике (рис. 16) видно, что наибольшее количество зарегистриро-

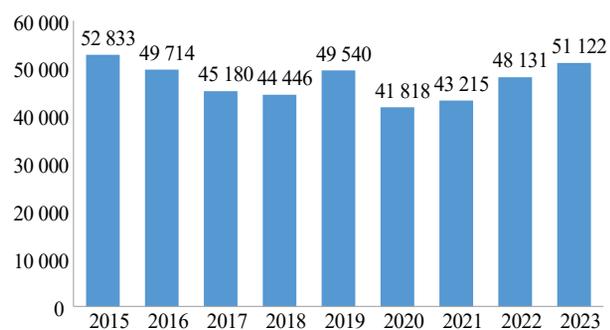


Рис. 15. Число заболевших болезнями нервной системы в 2015–2023 гг. в Пензенской области¹³

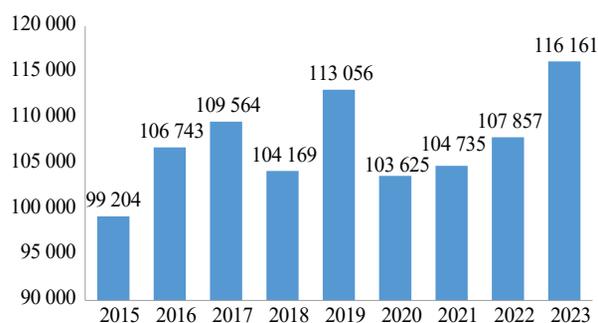


Рис. 16. Число заболевших болезнями эндокринной системы в 2015–2023 гг. в Пензенской области¹³

ванных случаев заболеваний наблюдалось в 2019 г. и составило 113 056 человек. В последующие годы количество заболевших несколько уменьшилось, достигнув минимального значения в 2020 г. — 103 625 человек. Однако затем начинается ежегодный рост, и к 2023 г. общее число заболевших возросло до нового максимума в 116 161 человек. Таким образом, как и в предыдущем анализе заболеваний, общая тенденция стремится к ухудшению.

Исследуя представленные данные по выбранным заболеваниям в Пензенской области, можно сделать ряд выводов:

- динамика заболеваний среди жителей данного региона, касающихся болезней крови и кроветворных органов, демонстрирует положительную тенденцию;
- количество людей с заболеваниями нервной системы за весь период мониторинга вернулось на исторические максимумы, и общая тенденция — негативная;
- в последний период, начиная с 2020 г., наблюдается значительный рост заболеваний, затрагивающих эндокринную систему. И к последнему году исследований значение превысило исторический максимум;
- по числу жителей с выявленными болезнями органов дыхания уровень заболевания стабилен, но пугают общие цифры, соответствующие числу половины населения области.

Результаты и их обсуждение.

Финансовое обоснование применения «зеленых» крыш

В настоящее время «зеленые» крыши в большей степени рассматриваются застройщиками как элемент «дизайна», повышающий привлекательность возводимого объекта и улучшающий его статус. Большинство инвесторов неохотно принимают решения по реализации «зеленых» крыш, так как отсутствует четкое понимание в положительных качествах применяемых конструкций, а суммарные затраты,

указанные в сметных расчетах, превышают значения устройства «классических» рулонных крыш.

С недавнего времени в России началось движение по популяризации подходов к проектированию современных зданий и жилых комплексов, основанных на применении конструкций и технологий на принципах биосферной совместимости, энергоэффективности и «зеленых» стандартов. Для этого разрабатываются и внедряются в реальное проектирование ГОСТ¹⁴ и ГОСТ¹⁵. Кроме того, ведутся многосторонние исследования, направленные на выявление свойств «зеленых» крыш, влияющих на физико-технические свойства ограждающих конструкций и улучшение экологического качества окружающей среды.

Выводы

Среди этих исследований можно выделить основные направления, влияющие на экономическую целесообразность применения «зеленых» крыш в массовом строительстве новых и реконструкции существующих зданий.

Направление № 1. Увеличение суммарного термического сопротивления ограждающих конструкций. То есть применение «зеленых» крыш позволит сократить затраты на отопление зданий в зимний период и уменьшить потребление электроэнергии на кондиционирование зданий в летний период. Кроме того, данные решения положительно повлияют на общее количество теплотеря здания, вносящие большой вклад в формирование городских островов тепла [9].

Направление № 2. Сокращение общего количества ливневых стоков, собираемых с площади крыш. Основой любых «зеленых» крыш является субстрат, позволяющий задерживать значительное количество дождевой влаги, попадающей на кровлю. Кроме того, в части технических решений предусмотрено применение профилированных мембран различной высоты. В выемках профиля мембраны также может задерживаться часть влаги, впоследствии впитывающаяся в субстрат. В настоящее время ведутся исследования по интеграции дополнительных материалов в состав «зеленых» крыш, которые позволят увеличить задерживаемое количество сточных вод [10].

Соответственно, задержка дождевой влаги позволит уменьшить нагрузку на сети городской ливневой канализации, затраты на очистку сточных вод, увеличит срок эксплуатации сетей и уменьшит финансовые затраты на текущие и капитальные ремонты коммуникаций.

¹⁴ ГОСТ Р 58875–2020. «Зеленые» стандарты. Озеленяемые и эксплуатируемые крыши зданий и сооружений. Технические и экологические требования.

¹⁵ ГОСТ Р 70346–2022. «Зеленые» стандарты. Здания многоквартирные жилые «зеленые».

Направление № 3. Улучшение экологической обстановки региона. Как было указано в настоящей статье, растения, в том числе расположенные на «зеленых» крышах, обладают способностями «фильтровать» воздух окружающей среды, абсорбируя на своей поверхности мелкодисперсные частицы. В том числе и PM_{2,5} и PM₁₀, являющиеся одними из факторов, провоцирующих болезни людей. Так как рассматриваемые Рязанская и Пензенская области являются территориями с большим количеством производственных площадок, разветвленной сетью дорог и активным транспортным движением, распространение мелкодисперсных частиц в воздухе является актуальной проблемой, влияющей на экологическую обстановку регионов и значительный рост заболеваний среди населения [11].

Описанные в данной статье задачи и выбранные направления их решения укладываются в концепцию, предусмотренную стратегией научно-технологического развития Российской Федерации¹⁶.

Улучшение экологической обстановки позволит сократить количество заболевших граждан как сезонными, так и хроническими заболеваниями, что уменьшит нагрузку на органы здравоохранения.

Теоретически установим «зеленые» крыши на большую часть зданий в г. Рязани. «Зеленое» решение сократит количество ливневых стоков и сведет к минимуму необходимость в проведении ремонтных работ. С экономической точки зрения это позволит автоматически исключать сразу несколько статей затрат при дальнейшем прогнозировании бюджета. К примеру, в 2024 г. городскому бюджету удалось бы сократить выделяемую сумму средств на 7,8 %, что в денежном эквиваленте составляет 15 376 700,00 руб. В 2021 г. в Рязани экономическая эффективность принятого решения за 1 год позволила бы сократить траты на указанные виды работ на 43,79 %, что в денежном эквиваленте составляет 34 032 954,07 руб. Устройство «зеленых» крыш позволит исключить статьи затрат, касающихся ремонта крыш и ливневой канализации, при прогнозировании бюджета городов на последующие годы.

Будут уменьшены затраты Фонда социального страхования на оплату больничных листов. Так, только за 2023 г. в Рязанской области было выплачено более 3 млрд руб. на оплату больничных листов¹⁷. А здоровый сотрудник будет работать с большей отдачей.

¹⁶ О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации : Указ Президента Российской Федерации от 28.02.2024 № 145. Москва, Кремль, 28.02.2024.

¹⁷ МКРУ Рязань. URL: [ocial/2023/01/25/v-ryazanskoy-oblasti-na-oplatu-bolnichnykh-vydeleni-bolee-3-mlrd-rublej.html](https://mkr.ru/ru/2023/01/25/v-ryazanskoy-oblasti-na-oplatu-bolnichnykh-vydeleni-bolee-3-mlrd-rublej.html) (дата обращения: 07.09.2024).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Безбородов Е.Л., Сысоева Е.В. Исследование проблемы загрязнения атмосферы мелкодисперсными частицами $PM_{2.5}$ и MP_{10} // Вестник ВГАСУ. 2024. № 1 (94). С. 186–203.
2. East J., Montealegre J.S., Pachon J.E., Garcia-Menendez F. Air quality modeling to inform pollution mitigation strategies in a Latin American megacity // *Science of the Total Environment*. 2021. Vol. 776. P. 145894.
3. Ochoa-Alvarado L.M., Zafra-Mejía C.A., Rondón-Quintana H.A. Multitemporal analysis of the influence of PM_{10} on human mortality according to urban land cover // *Multitemporal*. 2022. Vol. 13. P. 1949. DOI: 10.3390/atmos13121949
4. Lim C.H., Ryu J.E., Choi Y., Jeon S., Lee W.K. Understanding global $PM_{2.5}$ concentrations and their drivers in recent decades (1998–2016) // *Environment international*. 2020. Vol. 144. P. 106011. DOI: 10.1016/j.envint.2020.106011
5. Теличенко В.И., Слесарев М.Ю. «Зеленая» стандартизация будущего — фактор экологической безопасности среды жизнедеятельности // *Промышленное и гражданское строительство*. 2018. № 8. С. 90–97.
6. Кузнецова К.С. Роль приумножения народонаселения в России // *Актуальные исследования. Международный научный журнал*. 2023. № 10 (140). С. 42–50.
7. Кормина А.А., Бакаева Н.В. Количественная оценка состояния жилой среды города (на примере жилых микрорайонов и кварталов) // *Биосферная совместимость: человек, регион, технологии*. 2024. № 1 (45). С. 37–47.
8. Ильичев В.А., Колчунов В.И., Бакаева Н.В. Вопросы комфортности и безопасности городской среды и их решение в рамках законодательных и нормативных документов // *Строительство и реконструкция*. 2021. № 2 (94). С. 74–86.
9. Бакаева Н.В., Ле М.Т. Исследование взаимосвязи городского острова тепла и городского острова загрязнения в Москве // *Техносферная безопасность*. 2024. № 1 (33). С. 19–31.
10. Сысоева Е.В., Богачев А.В. Влияние «зеленых» крыш на снижение ливневых стоков // *Биосферная совместимость: человек, регион, технологии*. 2023. № 2 (42). С. 81–89.
11. Сысоева Е.В., Гельманова М.О. Assessment of $PM_{2.5}$ particulate air pollution near highways // *Вестник МГСУ*. 2023. Т. 18. Вып. 6. С. 889–900. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.6.889-900

Об авторах: Елена Владимировна Сысоева — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры архитектурно-строительного проектирования и физики среды; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; Российская Федерация, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ORCID: 0000-0001-7250-3190; e-mail: SysoevaEV@mgsu.ru;

Евгений Леонидович Безбородов — старший преподаватель кафедры архитектурно-строительного проектирования и физики среды; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; Российская Федерация, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ORCID: 0000-0001-9365-9581; e-mail: BezborodovEL@gic.mgsu.ru.

REFERENCES

1. Bezborodov E.L., Sysoeva E.V. Investigation of the problem of atmospheric pollution by fine particles $PM_{2.5}$ and MP_{10} . *Bulletin of the VGASU*. 2024; 1(94):186-203. (rus.).
2. East J., Montealegre J.S., Pachon J.E., Garcia-Menendez F. Air quality modeling to inform pollution mitigation strategies in a Latin American megacity. *Science of the Total Environment*. 2021; 776:145894.
3. Ochoa-Alvarado L. M., Zafra-Mejía C. A., Rondón-Quintana H.A. Multitemporal analysis of the influence of PM_{10} on human mortality according to urban land cover. *Multitemporal*. 2022; 13:1949. DOI: 10.3390/atmos13121949
4. Lim C.H., Ryu J.E., Choi Y., Jeon S., Lee W.K. Understanding global $PM_{2.5}$ concentrations and their drivers in recent decades (1998–2016). *Environment international*. 2020; 144:106011. DOI: 10.1016/j.envint.2020.106011
5. Telichenko V.I., Slesarev M.Yu. “Green” standardization of the future — a factor of environmental safety of the life environment. *Industrial and Civil Construction*. 2018; 8:90-97. (rus.).
6. Kuznetsova K.S. The role of population increase in Russia. *Current Research. International Scientific Journal*. 2023; 10(140):42-50. (rus.).
7. Kormina A.A., Bakaeva N.V. Quantitative assessment of the state of the city’s residential environment (on the example of residential neighborhoods and neighborhoods). *Biosphere Compatibility: Person, Region, Technology. Journal*. 2024; 1(45):37-47. (rus.).
8. Plyichev V.A., Kolchunov V.I., Bakaeva N.V. Issues of comfort and safety of the urban environment and their solution within the framework of legislative and regulatory documents. *Construction and Reconstruction*. 2021; 2(94):74-86. (rus.).

9. Bakaeva N.V., Le M.T. Investigation of the relationship between urban heat island and urban pollution island in Moscow. *Technosphere Safety*. 2024; 1(33):19-31. (rus.).
10. Sysoeva E.V., Bogachev A.V. The influence of “green” roofs on the reduction of storm drains. *Biosphere Compatibility: Person, Region, Technology*. 2023; 2(42):81-89. (rus.).
11. Sysoeva E.V., Gelmanova M.O. Assessment of PM_{2.5} particulate air pollution near highways. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(6):889-900. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.6.889-900 (rus.).

About the authors: **Elena V. Sysoeva** — PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Architectural and Construction Design and Environmental Physics; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-7250-3190; e-mail: SysoevaEV@mgsu.ru;

Evgeny L. Bezborodov — Senior Lecturer at the Department of Architectural and Construction Design and Environmental Physics; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-9365-9581; e-mail: BezborodovEL@gic.mgsu.ru.