

На правах рукописи

РЯБЧИКОВА ДАРЬЯ АНАТОЛЬЕВНА

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ НАСЕЛЕНИЯ В
СОВРЕМЕННОМ МЕГАПОЛИСЕ
(НА ПРИМЕРЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА)**

**Специальность 5.2.3 – Региональная и отраслевая экономика
(Бухгалтерский учет, аудит и экономическая статистика)**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени кандидата
экономических наук

Санкт-Петербург – 2026

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный экономический университет»

Научный руководитель – чл.-корр. РАН, доктор экономических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации

Елисеева Ирина Ильинична

Официальные оппоненты:

Ниворожкина Людмила Ивановна

доктор экономических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный экономический университет (РИНХ)», заведующий кафедрой статистики, эконометрики и оценки рисков

Денисенко Михаил Борисович

кандидат экономических наук, ординарный профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», директор Института демографии имени А. Г. Вишневого

Ведущая организация –

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт проблем региональной экономики Российской академии наук (ИПРЭ РАН)

Защита диссертации состоится «25» сентября 2026 г. в 13 часов на заседании диссертационного совета 24.2.386.09 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный экономический университет» по адресу: 191023, Санкт-Петербург, наб. канала Грибоедова, д. 30/32, ауд. 3033.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте <https://unecon.ru/nauka/dis-sovety/dissertaczii-predstavlennye-v-spbgeu/> Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный экономический университет».

Автореферат разослан «___» _____ 2026 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Декина М.П.

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертационного исследования. В современном мире происходит «стягивание» населения в города: доля городского населения Земли увеличилась с 33,7% в 1960 г. до 57,7% в 2024 г.¹ Особую роль приобретают города-мегаполисы. В российской статистической практике отсутствует нормативно закреплённое определение мегаполиса. В научных работах по экономике и урбанистике представлены различные определения данного понятия. Так, в экономических исследованиях мегаполис рассматривается как форма пространственного развития, в рамках которой проявляются агломерационные эффекты, при которых более крупные города и регионы оказываются более эффективными и производительными по сравнению с меньшими территориями². В урбанистике мегаполис определяется как кластер хорошо связанных городов, формирующий единое функциональное пространство³.

К мегаполису, в российской практике, относят города с населением свыше одного миллиона человек («города-миллионники»), являющиеся центрами городских агломераций. Ряд исследователей считает⁴, что численность населения является важным, но не определяющим признаком: статус мегаполиса формируется сочетанием функционального назначения, роли в национальных и региональных трансформациях, административно-столичных функций и особенностей пространственной организации. В международной классификации ООН (UN DESA⁵) мегаполисом признаётся городская агломерация с населением более 10 млн человек, с высокой плотностью расселения и устойчивыми экономическими, социальными и инфраструктурными связями⁶. Этому критерию в России формально соответствует лишь г. Москва. Однако г. Санкт-Петербург, с населением свыше 5,5 млн человек, статусом «окна в Европу» и «культурной столицы России», являющийся центром Северо-Западного Федерального округа, по своим демографическим и функциональным характеристикам также обоснованно может быть отнесен к мегаполисам. Выбор Санкт-Петербурга в качестве объекта исследования обусловлен тем, что при сопоставимом уровне демографического старения его миграционная компенсация выражена заметно слабее, чем в Москве. Миграционный прирост в расчёте на 1000 жителей в

¹ World Bank. Urban population (% of total population). World Development Indicators. Source: United Nations Population Division, World Urbanization Prospects. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS>

² orig.: “larger cities and regions are more efficient and more productive than smaller ones.” Cottineau C. et al. Defining urban agglomerations to detect agglomeration economies (2016).

³ A cluster of well-networked cities is called a megalopolis.” Dobbins T. What's the Difference Between a Megacity, a Metropolis, a Megalopolis and a Global City? ArchDaily, 2018.

⁴ См. например, Лексин, В. Н. Мегаполисы и феномен мегаполисности в России / В. Н. Лексин, Б. Н. Порфирьев // Регион: Экономика и Социология. – 2017. – № 1(93). – С. 42-77. – DOI 10.15372/REG20170103. – EDN VVEZOK.

⁵ United Nations Department of Economic and Social Affairs

⁶ United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. The World's Cities in 2025: Data Booklet. 2025. P. 2. Orig.: “cities with more than 10 million inhabitants are classified as megacities”. URL: https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/undesa_pd_2025_data-booklet_world_cities_in_2025.pdf

базовом 2023 г. составил в Санкт-Петербурге 1,7‰, в Москве 3,1‰⁷. Так что, для Санкт-Петербурга особенно значим анализ не только общей величины миграционного прироста, но и того, насколько он способен компенсировать естественную убыль и старение населения.

Взятые в совокупности демографические характеристики позволяют рассматривать мегаполис как *открытую демографическую систему*, развитие которой определяется нестабильным и трудно прогнозируемым миграционным процессом. Если на уровне страны численность прибывших и выбывших внутренней миграции уравниваются, то мегаполис живёт по иным законам: здесь внутренняя миграция может варьировать, естественная убыль практически никогда не компенсируется рождаемостью, и именно миграция берёт на себя роль главного механизма динамики численности населения. Влияние миграции усиливает асинхронность воспроизводственных процессов, а также дифференциацию населения, его чувствительность к социальным, экономическим и эпидемиологическим шокам. Становится все более очевидно, что традиционные сценарные модели, применяемые Росстатом для прогнозирования численности и состава населения оказываются недостаточными.

Классические подходы к прогнозированию населения, основанные на экстраполяции трендов и фиксированных сценариях, игнорируют стохастическую природу демографических процессов мегаполиса. Они недостаточно отражают изменчивость миграционной динамики и поведенческих параметров рождаемости и смертности. В результате прогнозы для мегаполисов, полученные по стандартным схемам, часто расходятся с реальностью, подрывая эффективность социальной политики, планирования жилищного строительства, развития инфраструктуры. В этих условиях особую актуальность приобретает совершенствование методологии прогнозирования численности и состава населения, ориентированной на отражение неопределённости и вариативности демографических процессов и повышающее чувствительность прогноза к реальному развитию мегаполиса.

Степень разработанности научной проблемы. В развитие когортно-компонентного метода внесли вклад А.Г. Волков (1931 – 2009), Л.Е. Дарский (1930 – 2001), Е.М. Андреев, Т.Л. Харькова, С.В. Захаров и другие. Значительный вклад в понимание мировых тенденций и их сочетания с региональными особенностями внесли межстрановые исследования М.А. Клупта и историко-социологический подход к изучению демографических процессов в работах А.Г. Вишневого (1931 – 2021). Отдельное место занимают также работы М. Б. Денисенко, Е. Л. Сороко, И. Е. Калабихиной, Л. И. Ниворожкиной, Г. Л. Сафаровой, Н. В. Мкртчяна и М. Г. Носовой, О. С. Чуудиновских и С. Ю.Никитиной, в которых рассматриваются вопросы

⁷ Рассчитано по данным ЕМИСС. Миграционный прирост в расчёте на 1000 жителей определялся как отношение миграционного прироста населения за 2023 г. к численности постоянного населения соответствующего города на 1 января 2024 г., умноженное на 1000. Источники: «Миграционный прирост населения, человек, за год». URL: <https://fedstat.ru/indicator/61749>; «Численность постоянного населения – женщин по возрасту на 1 января, человек». URL: <https://fedstat.ru/indicator/33459>; «Численность постоянного населения – мужчин по возрасту на 1 января, человек». URL: <https://fedstat.ru/indicator/31548>.

статистического анализа, моделирования и прогнозирования социально-экономических и демографических процессов.

Зарубежные исследования последних десятилетий содержат широкий спектр вероятностных решений. Ключевым этапом стала модель Р. Ли и Л. Картера (R. D. Lee, L. R. Carter) для прогнозирования смертности, в которую впервые была введена стохастическая компонента⁸. Последующие работы В. Лутца, В. Сандерсона и С. Щербова (W. Lutz, W. Sanderson, S. Scerbov) сформировали концепцию вероятностных прогнозов рождаемости и смертности⁹. Современные работы Р. Дж. Хайндмана, Р. Ли и Л. Тикл (R. J. Hyndman, R. Lee, L. Tickle), основанные на методах анализа временных рядов и функциональных данных, расширили возможности моделирования¹⁰. В развитие вероятностного демографического прогнозирования также внесли вклад Н. Кейлман (N. Keilman), Д. Фам (D. Pham), А. Хетланд (A. Hetland), А. Е. Рафтери (A. E. Raftery), Н. Ли (N. Li), Х. Шевчикова (H. Ševčíková), П. Ванелла (P. Vanella), П. Дешермейер (P. Deschermeier) и К. Ю (K. Yu). Новейшие разработки включают байесовские и пространственно-временные модели, применимые к условиям мегаполисов¹¹.

В современной российской официальной статистической практике прогнозирование по-прежнему опирается на детерминистские сценарии, где рассчитываются низкий, средний и высокий варианты прогноза. С. Ю. Никитина обосновывает необходимость адаптации традиционных методов прогноза численности населения к условиям недостатка демографических данных, особенностям российской статистической базы и миграционной динамики. На развитие методов анализа и моделирования существенное влияние оказали работы И. И. Елисеевой и её научной школы, в которых систематизированы статистические и эконометрические подходы к исследованию социально-экономических и демографических процессов¹².

Цель диссертационного исследования – обоснование и реализация метода статистического прогнозирования численности населения мегаполиса на основе вероятностного когортно-компонентного подхода с учётом стохастического характера рождаемости, смертности и миграции, исходя из специфики мегаполиса как открытой демографической системы (на примере г. Санкт-Петербурга).

Реализация поставленной цели потребовала решения выполнения следующих задач:

⁸ Lee R.D., Carter L.R. Modeling and forecasting U.S. mortality. *Journal of the American Statistical Association*. 1992. Vol. 87, No. 419. P. 659–671.

⁹ Lutz W., Sanderson W., Scherbov S. Probabilistic population projections based on expert opinion. *Nature*. 1998. Vol. 397. P. 710–713.

¹⁰ Hyndman R.J., Lee R., Tickle L. Mortality forecasting: a review of methods. *Statistical Modelling*. 2003. Vol. 3, No. 4. P. 289–303.

¹¹ Vanella P., Deschermeier P. A probabilistic cohort-component population projection for Germany. *Journal of Population Research*. 2018. Vol. 35. P. 87–118.

¹² Елисеева И.И., Боченина М.В. Перспективные оценки численности населения Санкт-Петербурга. Санкт-Петербург: глобальный город, 2018

- уточнение специфики мегаполиса как открытой демографической системы и определение методологических ограничений традиционных сценарных моделей прогнозирования, применительно к крупным городам;
- критическое обобщение отечественных и международных подходов к демографическому прогнозированию мегаполиса, включая методику Росстата и систему прогнозов ООН; оценку их применимости к условиям мегаполиса;
- проведение сравнительного анализа демографической динамики Санкт-Петербурга и Барселоны как примеров крупных городов с различными моделями воспроизводства населения и миграционного регулирования и, соответственно, особенностями прогнозирования;
- разработка модифицированной методики прогнозирования на основе стохастического когортно-компонентного подхода, учитывающей неопределённость миграционных потоков и вариативность демографических процессов;
- обоснование выбора эмпирической базы для калибровки вероятностной модели и проверка чувствительности результатов к альтернативным историческим окнам;
- построение вероятностного прогноза численности и возрастно-половой структуры населения Санкт-Петербурга до 2045 года и сопоставление полученных оценок с официальным прогнозом Росстата;
- получение прогнозных оценок рождаемости, смертности и чистой миграции (включая суммарный коэффициент рождаемости, число родившихся и умерших, ожидаемой продолжительности жизни при рождении) и проверку чувствительности оценок к детализации возрастной структуры.
- разработка сценарного анализа результатов вероятностного прогноза на основе четырёх сценариев демографического развития Санкт-Петербурга – от благоприятного до неблагоприятного, включая два промежуточных варианта, и сопоставление полученных оценок с официальным прогнозом Росстата.

Объектом исследования выступает мегаполис как открытая демографическая система. В качестве эмпирического примера выбран Санкт-Петербург – второй по численности населения город России, сформировавший агломерацию, крупный центр внутренней и внешней миграции, обладающий особой демографической структурой.

Предметом исследования являются методологические и методические аспекты вероятностного когортно-компонентного демографического прогнозирования численности и состава населения мегаполиса, учитывающие специфику изменений рождаемости, смертности, внутрисредней и внешней миграции, что обеспечивает возможность вариативности стратегического планирования мегаполиса.

Теоретическую основу диссертационного исследования составили труды российских и зарубежных ученых в области демографического прогнозирования, теории воспроизводства населения, когортно-

компонентного метода и вероятностного моделирования демографической динамики. Используются научные положения и методические разработки по вопросам статистического анализа демографических процессов, моделирования рождаемости, смертности и миграции, построения прогнозных оценок численности и возрастно-половой структуры населения.

Методологическую основу исследования составили когортно-компонентная модель прогнозирования, вероятностное моделирование с использованием Монте-Карло-симуляций, методы анализа временных рядов, метод главных компонент, построение сценарных прогнозов, ретроспективная проверка прогноза и калибровка предиктивных интервалов.

Информационная база исследования. Диссертационное исследование выполнено на основе открытых данных Федеральной службы государственной статистики (Росстат), Единой межведомственной информационно – статистической системы (ЕМИСС), а также данных Управления Федеральной службы государственной статистики по Санкт-Петербургу и Ленинградской области (Петростат).

Обоснованность результатов исследования обеспечена опорой на концепции и методы современной демографической науки, статистики и демографического прогнозирования, включая представление о мегаполисе как открытой демографической системе. Достоверность и внутреннюю согласованность полученных выводов обеспечили применение когортно-компонентного подхода, вероятностного моделирования, методов анализа временных рядов, процедур вторичной группировки исходных данных, а также калибровки предиктивных интервалов на основе ретроспективной проверки модели. Существенное значение имело обращение к международному опыту демографического прогнозирования, прежде всего к методологическим принципам ООН и зарубежной практике городских прогнозов, что позволило соотнести предложенный подход с современными стандартами вероятностного анализа демографической динамики.

Достоверность результатов исследования обеспечивается использованием официальных статистических данных Росстата, Петростата и Рекомендаций ООН, использованием достижений отечественной и мировой науки, что делает возможным корректное сравнение полученных оценок с официальными прогнозами. Результаты исследования подтверждены апробацией на международных и всероссийских конференциях и публикациями результатов в рецензируемых научных изданиях, включая журналы из перечня ВАК, имеющих право публикации научных работ по специальности 5.2.3.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Представленная научно-квалификационная работа соответствует паспорту специальности 5.2.3 – «Региональная и отраслевая экономика» (Бухгалтерский учет, аудит и экономическая статистика):

П. 11.15. Статистическое наблюдение. Методы сбора и обработки статистической информации.

П. 11.17. Прикладные статистические исследования в экономике. Статистическая поддержка управленческих решений.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в обосновании и модификации вероятностного подхода к прогнозированию численности и состава населения мегаполиса на основе стохастического когортно-компонентного моделирования, позволяющего представить прогноз как спектр возможных демографических траекторий в стратегическом планировании и управления развитием мегаполиса. **К числу наиболее значимых и обладающих новизной научных результатов, полученных лично соискателем, относятся следующие:**

1. Обоснование прогнозирования населения мегаполиса как особого направления, учитывающего открытость мегаполиса как демографической системы;

2. Модификация вероятностного подхода к демографическому прогнозированию применительно к мегаполису, основанного на стохастическом когортно-компонентном моделировании, включающего построение прогнозной системы статистических показателей численности и состава населения;

3. Разработка процедуры подготовки и согласования эмпирической базы для вероятностного прогноза населения мегаполиса, включающей вторичную группировку демографических рядов, реконструкцию недостающих возрастно-половых показателей, а также проверку чувствительности результатов к альтернативным историческим окнам калибровки;

4. Обоснование стохастической спецификации PCA-AR(1) и процедуры калибровки предиктивных интервалов, что позволяет статистически обоснованно оценивать не только медианную траекторию прогноза, но и вероятный диапазон возможных демографических отклонений;

5. Построение долгосрочного вероятностного прогноза численности населения и возрастно-половой структуры населения Санкт-Петербурга до 2045 г., включающего оценку медианной траектории, предиктивных интервалов, перспективных параметров рождаемости, смертности и миграции.

6. Разработка перспективных сценариев демографического развития Санкт-Петербурга и оценка влияния сценарных демографических параметров на численность и возрастно-половую структуру мегаполиса в целях статистической поддержки управленческих решений и стратегического планирования развития мегаполиса.

Теоретическая значимость исследования заключается в развитии вероятностного подхода к демографическому прогнозированию мегаполиса. Результаты исследования расширяют теоретические представления о методах прогнозирования населения мегаполиса, как открытой системы в условиях стохастичности демографических процессов.

Практическая значимость работы состоит в том, что разработанная методика прогнозирования численности и состава населения Санкт-Петербурга может быть использована Росстатом для включения в

официальную методику демографического прогнозирования для субрегионов. Результаты исследования могут быть использованы в стратегическом планировании развития российских мегаполисов. Разработанный подход способен повысить обоснованность и точность прогнозов населения, которые лежат в основе решений о развитии транспортной, жилищной и социальной инфраструктуры.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования прошли всестороннюю апробацию на следующих научных конференциях:

- XX Международная научно-практическая конференция, "Проблемы социально-экономической устойчивости региона" (ПГАУ, Пенза, 25-26 января 2023);

- Евразийская олимпиада по теории статистики (ОГУ, Оренбург, 13-19 мая 2023);

- Всероссийская научно-практическая конференция (с международным участием) «Измерение и анализ благосостояния» (СПбГЭУ, Санкт-Петербург, 25-27 января, 2024)

- Научная сессия профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов по итогам НИР «Актуальные вопросы развития современной науки: теория и практика» (СПбГЭУ, Санкт-Петербург, апрель-май, 2024)

- IX Санкт-Петербургский Международный Форум Труда, круглый стол «Кадровый потенциал регионов: диагностика, и прогнозирование, управление» (КВЦ «Экспофорум», Санкт-Петербург, 2-4 апреля, 2025)

- Всероссийская научная конференция «Серебряный возраст. Петербург» (Федеральный научно-исследовательский социологический центр Российской академии наук Социологический институт РАН – филиал ФНИСЦ РАН, Санкт-Петербург, 22 мая 2026)

Публикации результатов исследования. Основные положения и результаты исследования отражены в 8 научных статьях, в том числе в 4 статьях, опубликованных в рецензируемых журналах, включенных в рекомендованный список ВАК Российской Федерации, общим объемом 5,09 п. л., в том числе авторским – 4,72 п. л.

Структура диссертационного исследования. Цели и задачи исследования определили его структуру. Диссертация включает введение, три главы, заключение, список использованной литературы, кроме того, имеется десять приложений. Объем основного текста составляет 136 страниц, включая 16 таблиц, 6 листингов, 19 рисунков и 59 формул; список использованной литературы насчитывает 118 источников. Логика работы определяется последовательностью перехода от теоретического обоснования мегаполиса как особого объекта демографического прогнозирования к анализу демографической динамики Санкт-Петербурга, разработке вероятностной когортно-компонентной модели и интерпретации полученных прогнозных результатов.

II. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Обоснование прогнозирования населения мегаполиса как особого направления, учитывающего открытость мегаполиса как демографической системы

Современный мегаполис представляет собой открытую демографическую систему, численность и структура населения которой формируются под воздействием не только естественного движения, но и интенсивных миграционных потоков. Составляющие естественного движения населения (рождаемость и смертность) в мегаполисе хронически не уравновешены: как правило, рождаемость не компенсирует естественную убыль. Главным «двигателем» динамики населения становится миграция. Причём миграционные потоки в крупных городах неустойчивы, подвержены внешним шокам и не всегда полно отражаются в официальной статистике. Это приводит к расхождению между зарегистрированной и фактической численностью населения. Расхождения данных о численности населения в текущем учете и Всероссийской переписи населения 2020 г. (2021 г.) оказались весьма значительны: на 1 октября 2021 года по данным переписи в Петербурге проживало 5,602 млн человек¹³, а на 1 января 2021 года по текущему учету проживало 5,384 млн человек¹⁴. Тем самым подтверждается, что зарегистрированное население не в полной мере отражает фактическую численность населения мегаполиса, а следовательно, не может безоговорочно приниматься в качестве единственной основы прогноза.

Для мегаполиса характерна асинхронность демографических процессов: сосуществование зон роста и депопуляции, «омоложения» и старения населения. Методология ООН выступает методическим ориентиром современных демографических прогнозов, поскольку соединяет когортно-компонентную модель с вероятностным подходом к оценке демографических траекторий. При переходе от странового прогноза к уровню мегаполиса вероятностный подход требует адаптации, так как для крупного города определяющее значение приобретают внутренняя миграция, масштабы временно присутствующего населения и возрастная структура миграционных потоков. Сравнение Санкт-Петербурга с Барселоной, близкой по масштабу населения и роли агломерационного ядра, показывает значимость городской и миграционной политики для демографического развития мегаполиса, поскольку устойчивое миграционное сальдо приводит к более сбалансированной возрастной структуре, смягчает последствия естественной убыли и старения населения.

¹³ Всероссийская перепись населения 2020 года проведена по состоянию на 1 октября 2021 года

¹⁴ Возрастно-половой состав населения Санкт-Петербурга на 1 января 2021 года

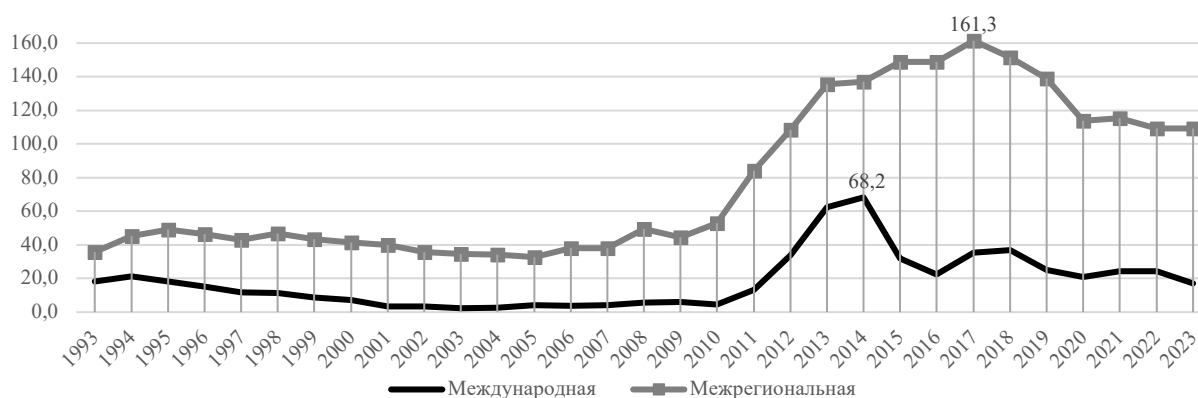


Рисунок 1 – Динамика внешней и внутренней (межрегиональной) миграции Санкт-Петербурга, 2000-2023 гг.

Это приводит к выводу, что традиционные подходы к прогнозированию, ориентированные на «замкнутые» демографические системы, оказываются недостаточными применительно к мегаполису. Требуется учет его «открытости»: циркуляции населения, временных форм пребывания, включая маятниковую и сезонную миграцию. Данное положение закладывает методологическую основу проведенного исследования: мегаполис рассматривается как особый объект демографического прогнозирования, для которого необходимы адаптированные модели, учитывающие миграционную неустойчивость и структурную сложность. Характер миграционных потоков в Санкт-Петербурге подтверждает эту специфику объекта: начиная с 2010-х годов масштабы миграционного обмена существенно возросли, при этом внутренняя миграция стабильно доминирует над внешней и во многом определяет общий баланс численности населения (рис. 1). Результаты расширенной гравитационной модели внутренней миграции за 2015-2023 гг. показали, что Санкт-Петербург сохраняет выраженное миграционное притяжение, но оно имеет пространственно-экономически ограниченный характер. Наиболее значимыми факторами притока выступают численность и динамика населения региона-донора, расстояние до Санкт-Петербурга, уровень заработной платы и параметры занятости.

2. Модификация вероятностного подхода к демографическому прогнозированию применительно к мегаполису, основанного на стохастическом когортно-компонентном моделировании, включающего построение прогнозной системы статистических показателей численности и состава населения

В традиционном детерминистском прогнозе, основанном на когортно-компонентной схеме, будущая динамика населения задается в виде набора расчётных траекторий, формируемых посредством фиксированных значений параметров демографических процессов (рождаемости, смертности и миграции) в рамках сценарных условий. В отечественной практике такой подход реализуется в виде низкого, среднего и высокого вариантов прогноза. При этом в открытых публикациях Росстата, как правило, представлен средний вариант прогноза для субъектов Российской Федерации, так что

неопределённость демографической динамики в явном виде не моделируется и не измеряется.

Вероятностный подход исходит из принципиально иной постановки задачи: прогноз трактуется не как единственная траектория, а как распределение возможных демографических траекторий, формируемое в результате стохастического моделирования демографических компонент. Ключевое методологическое преимущество этого подхода заключается в том, что неопределённость демографических процессов не задаётся внешними допущениями, а количественно оценивается в рамках самой модели через систему предиктивных интервалов.

Применительно к мегаполису вероятностный подход приобретает особую методологическую значимость. В отличие от национального уровня, где часть колебаний сглаживается за счёт агрегирования, в крупном городе даже умеренные изменения демографических компонент приводят к существенным расхождениям в долгосрочной динамике численности и возрастно-половой структуры населения.

В основе модели лежит вероятностная когортно-компонентная схема с годовым шагом и распределением населения по полу и пятилетним возрастным группам. Для каждой половозрастной группы численность населения задаётся стандартным демографическим балансом (1):

$$P_{a,s,t+1} = P_{a,s,t} + B_{a,s,t} + G_{a,s,t}^{in} - G_{a,s,t}^{out} - D_{a,s,t} + M_{a,s,t} \quad (1)$$

где $P_{a,s,t}$ – численность населения возрастной группы a пола s в момент времени t ; $B_{a,s,t}$ – число родившихся пола s ; $G_{a,s,t}^{in}$ – численность населения, вошедшего в данную возрастную группу из младшей возрастной группы; $G_{a,s,t}^{out}$ – численность населения, вышедшего из данной возрастной группы в старшую возрастную группу; $D_{a,s,t}$ – число умерших в данной половозрастной группе; $M_{a,s,t}$ – чистая миграция за период от t до $t + 1$. Для всех возрастных групп, кроме младшей, $B_{a,s,t} = 0$; для младшей возрастной группы $G_{a,s,t}^{in} = 0$.

Интенсивность рождаемости задаётся через возрастные коэффициенты рождаемости женщин репродуктивного возраста; численность новорожденных распределяется по полу с учетом возраста и брачного состояния матерей, а также очередности рождений (последние две характеристики не включались в систему переменных в базе данных).

В отличие от детерминистского прогноза, рождаемость, смертность и миграция в данной работе рассматриваются как стохастические возрастно-половые процессы. Исторические возрастные профили компонент представляются в виде матриц «возраст \times год» и редуцируются методом главных компонент (2):

$$\ln \lambda_{a,s,t} = \mu_{a,s} + \sum_{k=1}^K z_{k,s,t} v_{k,a,s} \quad (2)$$

где $\mu_{a,s}$ – средний возрастной профиль, $\nu_{k,a,s}$ – возрастной паттерн k -й главной компоненты, $z_{k,s,t}$ – её временной коэффициент. В расчётах данной модели используются две главные компоненты, что обеспечивает компромисс между точностью аппроксимации и устойчивостью оценивания и подтверждается сопоставлением доли объяснённой дисперсии по компонентам.

Для описания динамики временных коэффициентов была использована авторегрессионная модель первого порядка (3):

$$z_{k,s,t} = \varphi_k z_{k,s,t-1} + \eta_{k,s,t}, \eta_{k,s,t} \sim N(0, \sigma_k^2), \quad (3)$$

где $z_{k,s,t}$ – значение k -го временного коэффициента для пола s в момент времени t ; φ_k – коэффициент авторегрессии первого порядка; $\eta_{k,s,t}$ – случайная ошибка; σ_k^2 – дисперсия случайной ошибки.

Модель (3) соответствует стационарным процессам $AR(1)$, эквивалентным $ARIMA(1,0,0)$. Такая спецификация принята как базовая стохастическая модель динамики коэффициентов, которая обеспечивает воспроизводимую генерацию траекторий демографических режимов.

После задания стохастической динамики компонентный прогноз в данной работе строился методом Монте-Карло: генерировалось множество реализаций траекторий $z_{k,s,t}$, по ним восстанавливались возрастно-половые коэффициенты рождаемости, смертности и миграции, после чего для каждой реализации выполнялся когортно-компонентный расчёт. В результате было сформировано распределение возможных траекторий численности населения, по которому определялись медианная оценка прогноза и предиктивные интервалы:

$$P(N_t \in [L_t, U_t]) = \gamma, \quad (4)$$

где N_t – численность населения в году t ; L_t и U_t – нижняя и верхняя границы предиктивного интервала, соответственно; γ – заданный уровень доверительной вероятности (например, 0,90).

Особенностью модели является специальная постановка миграционной компоненты: чистая миграция задаётся через относительные возрастно-половые показатели. Такой прием был использован М. Камероном (M. Cameron) и Ж. Путом (J. Poot) в субнациональных стохастических прогнозах¹⁵. В настоящей работе дополнительно введена уровневая корректировка, позволяющая учесть возможный недоучёт устойчивого миграционного прироста. Внутренняя и внешняя миграция при этом не разделялись, поскольку в региональной когортно-компонентной модели ключевым является их суммарное воздействие на численность возрастно-половых когорт.

3. Разработка процедуры подготовки и согласования эмпирической базы для вероятностного прогноза населения мегаполиса, включающей вторичную группировку демографических рядов, реконструкцию

¹⁵ Cameron, Michael & Poot, Jacques. (2011). Lessons from Stochastic Small-Area Population Projections: The Case of Waikato Subgroups in New Zealand. *Journal of Population Research*. 28. 245-265. 10.1007/s12546-011-9056-3.

недостающих возрастно-половых показателей, а также проверку чувствительности результатов к альтернативным историческим окнам калибровки

Для вероятностного когортно-компонентного прогноза была сформирована согласованная эмпирическая база по данным Петростата, охватывающая 1990-2023 гг., приведённая к единому формату по полу, пятилетним возрастным группам и годовому шагу наблюдения. Выбор исследуемого периода обусловлен тем, что он охватывает качественно различные режимы демографической динамики Санкт-Петербурга – трансформационный спад 1990-х годов, стабилизацию 2000-х и структурные изменения 2010-2020-х гг. Благодаря этому исторический ряд может использоваться не только для задания центральной траектории, но и для оценки масштаба неопределённости, т.е. предиктивных интервалов.

Наибольшие трудности в подготовке данных были связаны с миграцией. Начиная с 2014 года официальная статистика перешла на иную систему возрастных групп мигрантов, напрямую несовместимую с рядами 2003-2013 гг. В интервале 1990-2002 гг. детализированные данные о прибывших и выбывших были недоступны в требуемой возрастной детализации. Для унификации возрастных шкал использовался метод пропорционального распределения. Таким образом, возрастные группы были приведены к сопоставимому виду, а открытые интервалы «65 лет и старше» и «80 лет и старше» были детализированы.

Для периода 1990-2002 гг. реконструкция выполнялась по совокупным потокам прибывших и выбывших. Ряды прибывших и выбывших по возрастным группам за указанные годы были восстановлены на основе комбинированного подхода, включающего метод среднегодовых приростов рядов прибытий и выбытий, а также расчетов на основе экспоненциальной и линейной моделей в зависимости от особенностей динамики миграционных потоков. По восстановленным значениям рассчитывалась чистая миграция, которая соотносилась с численностью соответствующих возрастно-половых групп и переводилась в относительные возрастно-половые показатели для использования в когортно-компонентной модели.

Для данных о смертности возникла задача восстановления возрастно-половых коэффициентов за 1990-2010 гг., поскольку в сопоставимом виде на уровне субъекта они доступны лишь с 2011 года. Восстановление проводилось на основе отклонений смертности в Санкт-Петербурге от уровня смертности городского населения России. Следует отметить, что этот прием был вынужденным, обусловленным ограничениями статистической базы¹⁶:

Статистика рождаемости имела полные ряды возрастных коэффициентов рождаемости для женщин Санкт-Петербурга за 1990-2023 гг.,

¹⁶ Выбор показателей смертности городского населения России обусловлен ограничениями статистической базы: сопоставимые возрастно-половые коэффициенты смертности по отдельным регионам и городам на длительном интервале отсутствуют, тогда как данные по России в целом с разбивкой на городское и сельское население доступны за весь период 1990-2023 гг.

так что сопоставимость этой компоненты на всём интервале наблюдения была обеспечена.

Корректность выбранной эмпирической базы проверялась на альтернативных окнах калибровки – 1995-2023, 2000-2023 и 2005-2023 гг. Сопоставление результатов показало, что сокращение исторического окна не оказывает существенного влияния на медианные траектории прогноза, однако приводит к систематическому сужению предиктивных интервалов. Это означает, что использование более коротких рядов приводит к недооценке неопределённости демографической динамики.

Тем самым обосновано, что длина исторического ряда является ключевым фактором калибровки стохастической компоненты модели: только использование длительного интервала 1990-2023 гг. позволило корректно учесть амплитуду демографических колебаний и получить реалистичную оценку величины прогнозных интервалов. Более короткие окна сглаживают вариативность процессов и формируют избыточно «узкие» интервалы, не отражающие реальные демографические риски.

4. Обоснование стохастической спецификации PCA-AR(1) и процедуры калибровки предиктивных интервалов, что позволяет статистически обоснованно оценивать не только медианную траекторию прогноза, но и вероятный диапазон возможных демографических отклонений

Стохастическая часть вероятностного прогноза основана на моделировании временной динамики коэффициентов главных компонент, полученных в результате PCA-разложения возрастных профилей рождаемости, смертности и миграции. Для каждого пола и каждой компоненты временные коэффициенты модели были заданы авторегрессионным процессом первого порядка:

$$z_{k,s,t} = \varphi_k z_{k,s,t-1} + \eta_{k,s,t}, \eta_{k,s,t} \sim N(0, \sigma_k^2), \quad (5)$$

где $z_{k,s,t}$ – коэффициент k -й главной компоненты в t -й год, φ_k – коэффициент инерции процесса, $\eta_{k,s,t}$ – случайное возмущение.

Данная спецификация соответствует стационарному процессу $AR(1)$, эквивалентному $ARIMA(1,0,0)$, и позволяет формализовать инерционность демографических режимов без введения жёстко заданного детерминированного тренда. Выбор PCA-AR(1) в качестве базовой спецификации обусловлен её устойчивостью на разных окнах калибровки и меньшим риском переобучения по сравнению с более сложными ARIMA-моделями.

После задания стохастической динамики коэффициентов главных компонент выполнялся прогноз методом Монте-Карло: для каждого года горизонта генерировалось множество реализаций $\{z_{k,s,t}\}$. По ним определялись расчетные значения возрастно-половых коэффициентов рождаемости, смертности и миграции, на основе которых был выполнен когортно-компонентный расчёт численности населения. В исследовании

использовано 10 000 симуляций, что позволило получить устойчивое эмпирическое распределение прогнозных траекторий и оценить медианные значения, а также квантильные границы итогового прогноза.

Принципиально важным этапом методики выступает калибровка предиктивных интервалов по результатам ретроспективного моделирования (*backtesting*). При этом исторический период был разбит на последовательность стартовых лет, для каждого из которых был построен вероятностный прогноз на фиксированный горизонт. Это позволило проверить, как часто фактическая численность населения попадает в расчётные интервалы. В отличие от традиционных ошибок, рассчитанных для точечного прогноза¹⁷, в вероятностной постановке ключевым является качество оценки неопределённости – соответствие расчётных интервалов фактическому покрытию. По результатам скользящего *backtesting* на горизонте до 5 лет для окна 1990-2023 гг. эмпирическое покрытие составило 0,68 для 90%-го интервала и 0,60 для 75%-го интервала, что подтвердило необходимость калибровки предиктивных интервалов.

Калибровка позволяет корректировать масштаб прогнозной неопределённости, приводя номинальные 90%-е интервалы в соответствие с качеством ретроспективного воспроизведения данных.

Проведённый анализ показал, что ключевая чувствительность предложенной вероятностной модели прогнозирования численности населения мегаполиса, представленной формулами (1)-(5) и процедурой её калибровки, связана не столько с медианной траекторией прогноза, сколько с шириной предиктивных интервалов. Именно оценка неопределённости сильнее всего зависит от выбора исторического окна и стохастической спецификации. Тем самым выбор *PCA – AR(1)* и процедура *backtesting*-калибровки являются не техническим дополнением к прогнозу, а его методологическим ядром, обеспечивающим статистически обоснованную и воспроизводимую оценку диапазона возможных демографических траекторий.

5. Построение долгосрочного вероятностного прогноза численности населения и возрастно-половой структуры населения Санкт-Петербурга до 2045 г., включающего оценку медианной траектории, предиктивных интервалов, перспективных параметров рождаемости, смертности и миграции

На основе вероятностной когортно-компонентной модели получен прогноз численности населения Санкт-Петербурга по 2045 г., представленный не одной расчётной траекторией, а распределением возможных исходов (рис. 2). Медианная оценка фиксирует переход мегаполиса к режиму демографического «плато» с 2030 по 2035 гг. В середине прогнозного горизонта численность населения достигает 5,78 млн человек, а к 2045 г. плавно снижается до 5,62 млн. При этом 90%-й предиктивный интервал дает диапазон 5,22-6,04 млн человек, что отражает совокупное влияние вариаций

¹⁷ Имеется ввиду MAE, RMSE, MAPE.

рождаемости, смертности и миграции. Следовательно, базовый прогноз указывает на некоторый рост численности населения мегаполиса с выходом на режим демографического плато и последующим плавным снижением, при этом на всех стадиях динамики общая численность сохраняется в пределах статистически обоснованного диапазона.

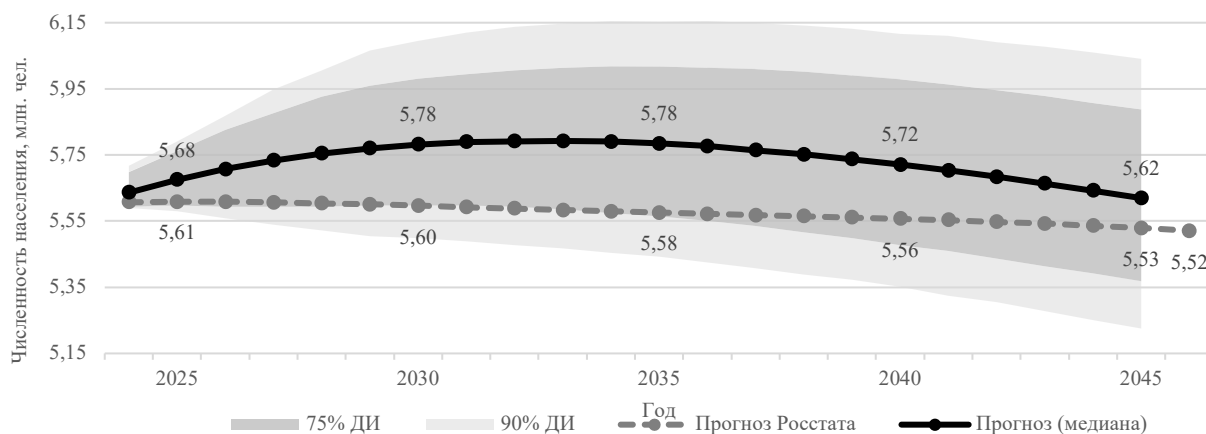


Рисунок 2 – Прогноз численности населения Санкт-Петербурга до 2045 г. (медианная траектория и предиктивные интервалы) и прогноз Росстата*

* Прогноз Росстата обозначен пунктиром

Существенным результатом являются полученные прогнозные оценки демографических компонент воспроизводства. Для рождаемости различия с официальным прогнозом Росстата в начале горизонта минимальны: к 2030 г. медиана суммарного коэффициента рождаемости составляет 1,325 ребенка на 1 женщину за фертильный период против 1,334 в среднем варианте Росстата. Далее траектории расходятся: в среднем варианте Росстата для Санкт-Петербурга СКР повышается до 1,493 к 2040 г. и 1,517 к 2045 г., тогда как в вероятностной модели медианное значение снижается до 1,239 и 1,218 соответственно. Здесь проявляется различие в самой прогнозной конструкции: РСА-AR(1) воспроизводит инерционную динамику возрастных коэффициентов рождаемости, не вводя нормативно заданного восходящего тренда. Перестройка возрастного профиля рождений носит преимущественно структурный характер: возрастает вклад групп 20-24 и 25-29 лет, тогда как вклад возрастов 35-39 лет снижается. Это отражает, прежде всего, изменение численности женских когорт в репродуктивных возрастах, а не «возврат» к раннему материнству. В абсолютном выражении медианное число рождений сокращается с 46,0 тыс. в 2030 г. до 42,5 тыс. в 2040 г. и 41,4 тыс. человек в 2045 г.

По миграционной компоненте различия с официальным прогнозом более выражены: если Росстат исходит из последовательного снижения миграционного прироста с 18,1 тыс. человек в 2030 г. до 16,2 тыс. в 2040 г. и 15,1 тыс. в 2045 г., то в вероятностной модели медианный чистый миграционный прирост хотя и уменьшается, но остаётся заметно выше – 34,0 тыс., 25,2 тыс. и 23,4 тыс. человек, соответственно. В обоих подходах к достижению горизонта миграция ослабевает как источник роста, однако в стохастической модели её компенсирующая роль по отношению к

естественной убыли сохраняется дольше. Различия в уровнях миграции связаны и с иной калибровкой базовой траектории¹⁸.

В смертности различия в прогнозах проявляются как в траекториях ожидаемой продолжительности жизни, так и в числе умерших. В вероятностной модели к 2035 г. медиана ОПЖ составляет 79,17 года у женщин и 71,19 года у мужчин, а к 2045 г. снижается до 78,60 и 70,68 года соответственно. В среднем варианте Росстата, напротив, заложено выраженное повышение ОПЖ: к 2035 г. до 82,89 года у женщин и 76,63 года у мужчин, к 2045 г. до 84,54 и 79,22 года, соответственно. Различие прослеживается и в численности умерших: согласно расчету Росстата численность умерших в Санкт-Петербурге составит 65,9 тыс. человек за 2030 г., 70,2 тыс. человек за 2040 г. и 73,2 тыс. человек за 2045 г.; по вероятностной модели – 79,7 тыс. человек за 2030 г., 94,0 тыс. человек за 2040 г. и 96,8 тыс. человек за 2045 г.

Различия носят системный характер: в PCA-AR(1) снижение возрастных коэффициентов смертности оказывается умеренным и не компенсирует ускоряющееся старение возрастной структуры, тогда как официальный средний вариант предполагает более выраженное снижение смертности, частично сглаживающее структурный эффект. В результатах вероятностного прогноза это проявляется в том, что увеличение численности старших возрастных когорт усиливает вклад возрастов с высокой смертностью, поэтому абсолютное число умерших возрастает даже при умеренном снижении возрастных коэффициентов смертности.

Дополнительная проверка чувствительности расчёта ОПЖ к детализации младших возрастов (0 лет и 1-4 года) показала, что различия в ОПЖ не превышают 0,15 года и не влияют на основные выводы о динамике смертности при её разделении на младенческую и детскую смертность.

Прогноз возрастно-половой структуры показывает, что относительная стабилизация общей численности населения сочетается с внутренней перестройкой демографической конфигурации: сокращением доли детей и ростом доли населения старших возрастов (табл. 1).

Таблица 1 – Возрастная структура населения Санкт-Петербурга, 2023, 2030 и 2045 гг.

Год	0-14 лет, тыс. чел.	Доля 0-14 лет, %	15-64 лет, тыс. чел.	Доля 15-64 лет, %	65 лет и старше, тыс. чел.	Доля 65 лет и старше, %
2023	805	14,4	3 795	67,8	999	17,8
2030	783	13,5	3 852	66,3	1 178	20,3
2045	699	12,1	3 788	65,5	1 293	22,4

Очевидно, что вероятностный прогноз фиксирует не только удержание населения на уровне 5,6-5,8 млн человек, но и отчётливое смещение структуры в сторону увеличения доли старших возрастных групп (рис. 3).

¹⁸ В методологии Росстата сценарные переменные задаются на уровне агрегатов (для рождаемости – СКР и средний возраст матери; для смертности – ОПЖ и коэффициент младенческой смертности; для миграции – абсолютные числа прибывших и выбывших), затем преобразуются в возрастно-половые коэффициенты и включаются в расчет по процедуре «передвижки по возрастам»; сценарии уточняются раз в два года.

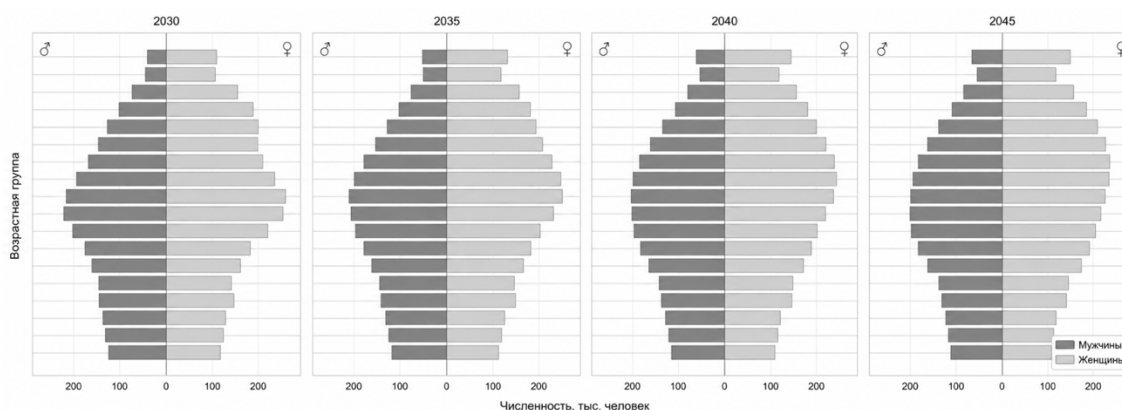


Рисунок 3 – Прогноз возрастно-половой структуры населения Санкт-Петербурга: 2030 – 2045 гг.

В возрастах до 60 лет соотношение полов близко к паритетному, однако в старших возрастах преобладание женщин возрастает – на 1000 мужчин старше 65 лет приходится 1744 женщины. Таким образом, основной результат прогноза состоит не только в оценке будущей численности населения, но и в выявлении структурного сдвига в сторону демографической зрелости при сохранении половой асимметрии в старших возрастах и росте демографической нагрузки на трудоспособное население.

Для сопоставления с официальным прогнозом Росстата возрастная структура была агрегирована в укрупнённые группы, используемые в прогнозных расчётах Росстата: моложе трудоспособного возраста, трудоспособный возраст и старше трудоспособного возраста. В прогнозном периоде трудоспособный возраст определяется как 16-64 года для мужчин и 16-59 лет для женщин; возраст старше трудоспособного – как 65 лет и старше для мужчин и 60 лет и старше для женщин (табл. 2).

Таблица 2 – Возрастная структура населения Санкт-Петербурга по вероятностному прогнозу и прогнозу Росстата, 2030 и 2045 гг.

Год	Источник прогноза	Моложе трудоспособного возраста, %	Трудоспособный возраст, %	Старше трудоспособного возраста, %
2030	Вероятностный прогноз	14,6	61,5	24,0
2030	Прогноз Росстата	13,9	61,6	24,5
2045	Вероятностный прогноз	13,1	59,9	27,0
2045	Прогноз Росстата	13,2	56,7	30,1

Примечание: поскольку исходные расчёты выполнены по пятилетним возрастным группам, группа 15-19 лет была разделена пропорционально: 1/5 отнесена к населению моложе трудоспособного возраста, 4/5 – к трудоспособному возрасту. Группа 60-64 года распределялась с учётом пола: мужчины отнесены к трудоспособному возрасту, женщины – к возрасту старше трудоспособного.

Сопоставление с прогнозом Росстата показывает близость оценок возрастной структуры в начале горизонта: в 2030 г. различия не превышают 0,7 п.п. К 2045 г. оба подхода фиксируют рост доли старших возрастов, однако в прогнозе Росстата рост этой группы выражен несколько сильнее – 30,1% против 27,0% в вероятностной модели. Следовательно, результаты модели (табл. 2) не противоречат официальному прогнозу и могут рассматриваться как одна из возможных траекторий демографического развития. Вероятностный подход при этом позволяет оценить диапазон возможных

отклонений не только общей численности, но и возрастно-полового состава населения.

6. Разработка перспективных сценариев демографического развития Санкт-Петербурга и оценка влияния сценарных демографических параметров на численность и возрастно-половую структуру мегаполиса в целях статистической поддержки управленческих решений и стратегического планирования развития мегаполиса

Поскольку средний вариант прогноза Росстата задаётся через экспертные предпосылки о будущих уровнях рождаемости, смертности и миграции, базовая вероятностная траектория, полученная на основе модели, была дополнена сценарным анализом. Его назначение состоит в том, чтобы проверить чувствительность итоговой численности населения к задаваемым изменениям демографических компонент. В отличие от вероятностного прогноза, основанного на инерции исторических рядов, сценарный блок исходит из аналитически заданных конфигураций демографического будущего и активной роли миграции. Для Санкт-Петербурга это особенно существенно, поскольку именно миграция определяет основную развилку долгосрочных траекторий численности населения.

Сценарный анализ основан на варьировании трёх параметров: уровня рождаемости, динамики смертности и добавочного сальдо миграции. Для рождаемости были заданы мультипликативные изменения возрастных коэффициентов, что позволяет сохранить распределение рождаемости по возрастам женщин и изменить общую численность деторождения. Для смертности использовано ежегодное накопительное изменение возрастных коэффициентов отдельно для мужчин и женщин, поскольку ожидаемая продолжительность жизни формируется не разовым снижением смертности, а последовательным изменением возрастных рисков на протяжении прогнозного периода.

Сценарии С1-С4 представляют конфигурации демографического развития мегаполиса – от благоприятной до неблагоприятной. В С1 задаются повышение возрастных коэффициентов рождаемости на 5%, ежегодное снижение смертности мужчин на 1,2% и женщин на 0,9%, а также миграционная добавка 35 тыс. человек. Параметры всех сценариев представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Сценарные параметры рождаемости, смертности и миграции Санкт-Петербурга до 2045 г.

Сценарий	Изменение возрастных коэффициентов рождаемости, %	Ежегодное изменение возрастных коэффициентов смертности, мужчины, %	Ежегодное изменение возрастных коэффициентов смертности, женщины, %	Дополнительное годовое чистое сальдо миграции, тыс. человек
С1	+5	-1,2	-0,9	+35
С2	+3	-0,8	-0,6	+25
С3	-2	-0,3	-0,2	+15
С4	-5	+0,3	+0,2	0

Примечание: проценты по рождаемости показывают разовое сценарное изменение возрастных коэффициентов рождаемости относительно базового варианта. Например, +5% означает, что в каждом прогнозном году коэффициенты рождаемости берутся на 5% выше базовых, но не увеличиваются ещё на 5% ежегодно. Проценты по смертности отражают ежегодное изменение возрастных коэффициентов смертности. Поправка к миграции задаётся как ежегодная добавка к чистому миграционному приросту.

Более выраженное снижение мужской смертности в благоприятных сценариях интерпретируется как реализация части резерва снижения сверхсмертности мужчин. Для мужчин реализация этого резерва связана прежде всего с медицинской профилактикой и изменениями поведения. В совокупности мужская сверхсмертность обуславливается болезнями системы кровообращения, внешними причинами, травматизмом и алкогольно-ассоциированными рисками. Поэтому сценарные параметры смертности отражают не предположение о резком улучшении мужского дожития, а ожидаемое умеренное снижение предотвратимых возрастных рисков смерти на протяжении прогнозного периода.

К 2045 г. сценарные различия раскрываются в полном объёме. В благоприятном варианте С1 медианная численность населения Санкт-Петербурга достигает 6,495 млн человек, тогда как в неблагоприятном варианте С4 снижается до 5,336 млн человек (рис. 4). Промежуточные сценарии С2 и С3 формируют коридор от 5,806 до 6,173 млн человек. Базовая медианная траектория вероятностного прогноза, равная 5,620 млн человек к 2045 г., располагается ниже промежуточного коридора, ближе к умеренно неблагоприятной конфигурации, что подчёркивает её осторожный характер и отсутствие заведомо оптимистических допущений по всем компонентам демографического баланса одновременно. Уже к середине 2030-х годов различия между сценариями становятся содержательно значимыми: варианты с сохранением повышенного миграционного притока в трудоспособных возрастах приводят к продолжению роста численности, тогда как сценарии с ослаблением миграционной компенсации выводят на стагнацию и последующий спад.

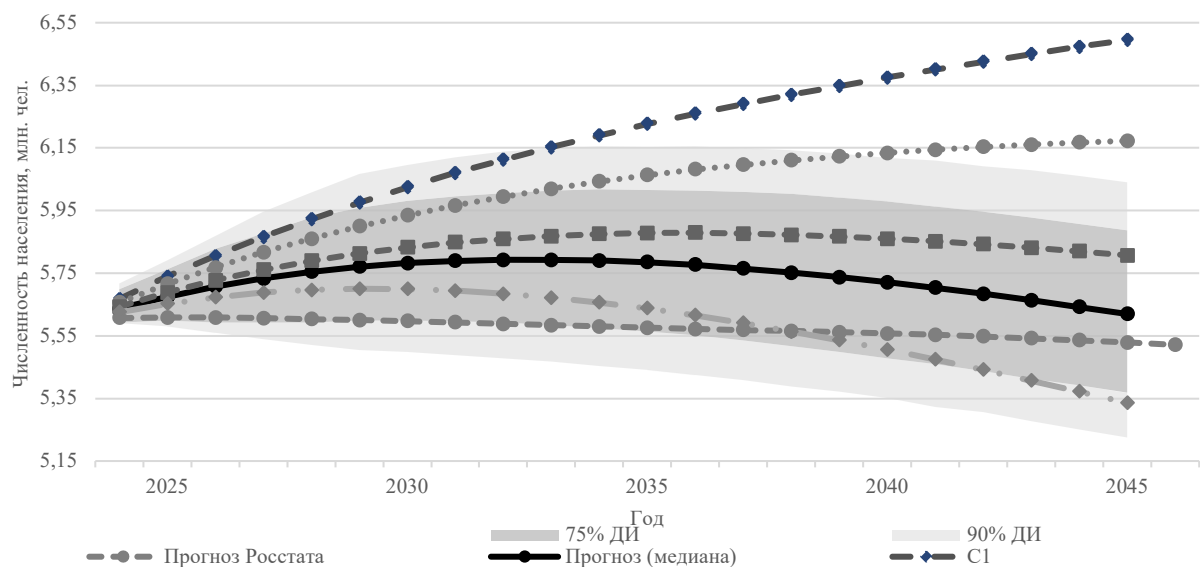


Рисунок 4 – Сценарный прогноз численности населения Санкт-Петербурга до 2045 г.

Содержательно сценарный анализ показывает, что при заданных изменениях рождаемости и смертности именно миграция остаётся главным фактором, раздвигающим траектории численности населения мегаполиса. Изменения рождаемости и смертности влияют на режим воспроизводства, число родившихся и умерших, ожидаемую продолжительность жизни и возрастную структуру населения, однако при сложившейся возрастной инерции сами по себе эти процессы не обеспечивают перехода к устойчивому росту численности населения. Напротив, накопленный миграционный эффект к 2040-м годам становится решающим условием различия между режимом демографической компенсации и режимом стагнации.

Во всех сценариях естественное движение остаётся отрицательным: число умерших превышает число родившихся даже в благоприятной конфигурации. Поэтому различия между сценариями определяются не столько возможностью восстановления естественного прироста, сколько масштабом компенсации естественной убыли за счёт миграции и снижением рисков смерти. В С1 к 2045 г. число рождений составит 50,4 тыс. человек, число умерших – 86,7 тыс., чистая миграция – 50,4 тыс.; в С4 соответственно 37,4 тыс., 96,6 тыс. и 15,4 тыс. человек. Это подтверждает, что рождаемость и смертность существенно влияют на режим воспроизводства и возрастную структуру, но решающим условием сохранения численности мегаполиса остаётся накопленный миграционный эффект.

Сценарные различия в смертности проявляются прежде всего в числе умерших и ожидаемой продолжительности жизни. В благоприятном варианте С1 к 2045 г. ОПЖ мужчин составляет 74,6 года, женщин – 80,9 года, в неблагоприятном варианте С4 – соответственно 69,6 и 77,9 года. Для женщин изменение ОПЖ между сценариями оказывается менее выраженным, поскольку исходный уровень продолжительности жизни у них уже выше, резерв дальнейшего снижения возрастной смертности ограничен, а основные риски сосредоточены в старших возрастах, где даже снижение смертности не приводит к такому же заметному росту ОПЖ, как в более молодых возрастах. Более выраженный рост ОПЖ мужчин в благоприятных сценариях, напротив, связан с большим потенциалом сокращения преждевременной и предотвратимой смертности. Таким образом, сценарные параметры смертности отражают постепенное изменение возрастных рисков, а не прямую корректировку итоговых показателей продолжительности жизни. К тому же они позволяют видеть сокращение разрыва в ОПЖ мужчин и женщин.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Санкт-Петербург как мегаполис и ядро Северо-Западного федерального округа обоснованно рассматривается как открытая демографическая система. В отличие от национального уровня, где потоки прибывших и выбывших взаимно уравновешиваются, для Санкт-Петербурга миграция выступает самостоятельным фактором динамики численности и возрастно-половой структуры населения. Анализ демографической динамики Санкт-Петербурга показал, что компоненты воспроизводства имеют разную степень

устойчивости. Рождаемость не компенсирует естественную убыль, смертность всё сильнее зависит от возрастного старения, а миграция остаётся наиболее изменчивым и труднопрогнозируемым фактором. Дополнительным ограничением выступает неполнота и несопоставимость отдельных показателей, что потребовало восстановления и согласования исходных данных. Подготовка эмпирической базы потребовала вторичной группировки и реконструкции демографических рядов для обеспечения сопоставимости данных по рождаемости, смертности, миграции и стартовой численности населения на интервале 1990-2023 гг.

С учётом этих особенностей предложена модель вероятностного прогноза численности населения мегаполиса, основанная на интеграции когортно-компонентного метода и стохастического моделирования демографических процессов. Стохастическая динамика возрастных профилей задавалась через спецификацию PCA-AR(1), а итоговые предиктивные интервалы были откалиброваны по результатам ретроспективного моделирования. Это позволило перейти от единственной расчётной линии к распределению демографических траекторий и тем самым придать прогнозу не только численную, но и аналитическую глубину.

Апробация модели на материалах Санкт-Петербурга показала, что к 2045 г. медианная оценка численности населения составит 5,62 млн против 5,597 млн человек¹⁹ в 2023 г. При этом неопределённость прогноза характеризуется 90%-м предиктивным интервалом 5,225-6,041 млн человек, что отражает возможный диапазон отклонений от центральной траектории. Однако главный результат состоит не только в прогнозировании численности населения. При относительной стабильности общей численности населения были выявлены существенные внутренние сдвиги: усиление демографического старения, снижение доли населения младших возрастов, сокращение относительного веса когорт в трудоспособном возрасте. Показано, что долгосрочная развилка демографических траекторий определяется прежде всего накопленным миграционным эффектом: именно миграция остаётся тем механизмом, который в условиях мегаполиса способен компенсировать естественную убыль и удерживать численность населения на достигнутом уровне и способствовать ее росту. Вывод о ключевой роли миграции подтверждается результатами расширенной гравитационной модели: приток в Санкт-Петербург усиливается демографическим потенциалом регионов-доноров и различиями в заработной плате, но ослабляется расстоянием и ограничениями рынка труда.

Сопоставление с официальным прогнозом Росстата показало, что инерционная траектория официального прогноза укладывается в предиктивные интервалы вероятностной модели, однако вероятностная постановка даёт существенно более полное представление о перспективах мегаполиса. Она позволяет видеть не только центральную оценку, но и поле

¹⁹ Численность постоянного населения в Санкт-Петербурге на 1 января 2024 года, URL: <https://fedstat.ru/indicator/31557>

возможных отклонений, а следовательно, обсуждать риски, касающиеся не только общей численности населения, но и его возрастно-полового состава и компонентного баланса. К тому же, прогноз Росстата дает значения численности населения, близкие к нижней границе доверительного интервала. Сценарный анализ усиливает этот вывод: коридор сценарных оценок между благоприятным и неблагоприятным вариантами прогноза превышает 1,1 млн человек и находится в диапазоне 5,336-6,495 млн человек, причём именно миграционный компонент оказывается главным фактором, раздвигающим траектории. Это означает, что для мегаполиса демографический прогноз должен рассматриваться не как фиксированные цифры, а как инструмент оценки границ устойчивости городской системы и возможных траекторий развития.

Практическое значение результатов состоит в возможности использовать вероятностный прогноз как инструмент принятия решений в условиях неопределённости. Для крупнейших городов важно учитывать не только ожидаемую численность населения, но и диапазон возможных состояний, в пределах которого может планироваться транспортная, жилищная, социальная и медицинская инфраструктура. Предложенный подход не подменяет официальный прогноз, а расширяет его аналитические возможности за счёт учёта демографической неопределённости.

IV. ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

1. **Рябчикова (Синицына), Д. А. Рождаемость в двух столичных городах России / Д. А. Рябчикова (Синицына) // Народонаселение. – 2024. – Т. 27, № 2. – С. 125-137. – DOI 10.24412/1561-7785-2024-2-125-137. – EDN QOLQJW. – 0,81 п.л.**
2. **Рябчикова, Д. А. Смертность в двух крупнейших мегаполисах России / Д. А. Рябчикова // Народонаселение. – 2025. – Т. 28, № 2. – С. 29-41. – DOI 10.24412/1561-7785-2025-2-29-41. – EDN WDFTGF. – 0,81 п.л.**
3. **Рябчикова, Д. А. Анализ динамики внутренней миграции в г. Санкт-Петербурге с использованием гравитационной модели / Д. А. Рябчикова // Вопросы статистики. – 2025. – Т. 32, № 2. – С. 40-51. – DOI 10.34023/2313-6383-2025-32-2-40-51. – EDN UWAWKJ. – 0,75 п.л.**
4. **Рябчикова, Д. А. Прогнозирование численности населения современного мегаполиса (на примере Санкт-Петербурга): методологические аспекты / Д. А. Рябчикова // Экономический журнал Высшей школы экономики. – 2026. – Т. 30, № 1. – С. 182-205. – DOI 10.17323/ej.2026.33626. – EDN TQPPJH. – 1,5 п.л.**
5. **Рябчикова (Синицына), Д. А. Прогнозирование численности и состава населения крупного города: основы методологии / Д. А. Рябчикова (Синицына) // Проблемы социально-экономической устойчивости региона : Сборник статей XX Международной научно-практической конференции, Пенза, 25–26 января 2023 года / Под редакцией Г.А. Резник. – Пенза:**

Пензенский государственный аграрный университет, 2023. – С. 425-429. – EDN GAEIXG. – 0,22 п.л.

6. Рябчикова (Синицына) Д.А. Статистический анализ занятости населения Санкт-Петербурга / А. О. Макарова, Д. А. Рябчикова (Синицына), Ю. В. Нерадовская // Евразийская олимпиада по теории статистики : Сборник научных трудов. – Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2023. – С. 246-254. – EDN EGITVC. – 0,56 п.л. (вклад автора – 0,19 п.л.)

7. Рябчикова (Синицына), Д. А. Почему Санкт-Петербург является центром притяжения внутренней миграции России? / Д. А. Рябчикова (Синицына) // Измерение и анализ благосостояния : тезисы докладов Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 25–27 января 2024 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2024. – С. 331-333. – EDN JKFIYU. – 0,19 п.л.

8. Рябчикова Д.А. Особенности второго демографического перехода в Санкт-Петербурге / Д.А. Рябчикова // «Актуальные вопросы развития современной науки: теория и практика : Сборник лучших докладов по результатам научной сессии профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов по итогам НИР. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2025. – С. 85-88. – 0,25 п.л.