

Агент-ориентированная модель прогнозирования численности населения по городам Республики Башкортостан*

Agent-based Model of Population Forecasting by Cities of the Republic of Bashkortostan

М. НИЗАМУТДИНОВ, А. ГАЙСИНА,
З. ДАВЛЕТОВА

Низамутдинов Марсель Малихович, канд. техн. наук, доцент, заведующий сектором экономико-математического моделирования Института социально-экономических исследований (ИСЭИ) Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (УФИЦ РАН). E-mail: marsel_n@mail.ru

Гайсина Амина Шамилевна, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник сектора экономико-математического моделирования ИСЭИ УФИЦ РАН. E-mail: aminagay@mail.ru

Давлетова Зульфия Альфировна, канд. техн. наук, старший научный сотрудник сектора экономико-математического моделирования ИСЭИ УФИЦ РАН. E-mail: davletova11@mail.ru

Демографические и миграционные процессы оказывают существенное влияние на социально-экономическое развитие территорий, чем обусловлена актуальность разработки инструментов прогнозирования динамики воспроизводства населения. В статье предлагается агент-ориентированная модель прогнозирования численности населения по городам Республики Башкортостан (РБ) с учетом миграционной компоненты. На базе экспериментов с имитационной моделью получены прогнозы изменения численности населения для последующих десяти лет в крупных и малых городах РБ (на примере г. Уфы и г. Агидели). Сделаны выводы о необходимости поддержки политики стимулирования рождаемости и принятия дополнительных мер по созданию благоприятных условий для роста демографического потенциала региона и укреплению устойчивости развития малых городов РБ.

Ключевые слова: прогнозирование численности населения, миграция, агент-ориентированная модель, города Республики Башкортостан.

Demographic and migration processes have a significant impact on the socio-economic development of territories, which is due to the relevance of the development of tools for predicting the dynamics of population reproduction. The article proposes an agent-oriented model for predicting the population size in the cities of the Republic of Bashkortostan, taking into account the migration component. Based on experiments with a simulation model, forecasts of population changes for the next ten years in large and small cities of the Republic of Bashkortostan were obtained (on the example of Ufa and Agidel). Conclusions were made about the need to support policies to stimulate the birth rate and take additional measures to create favorable conditions for the growth of the demographic potential of the region and strengthen the sustainability of the development of small towns in the Republic of Bashkortostan.

Key words: population forecasting, migration, agent-oriented model, cities of the Republic of Bashkortostan.

Основные положения

1. Анализ статистических данных по рождаемости и смертности в РБ выявил тенденцию к сокращению численности населения в малых городах, в крупных и средних городах, таких как Уфа и Нефтекамск, высокая смертность компенсируется миграционным приростом.

* Ссылка на статью: Низамутдинов М.М., Гайсина А.Ш., Давлетова З.А. Агент-ориентированная модель прогнозирования численности населения по городам Республики Башкортостан // Экономика и управление: научно-практический журнал. 2023. № 6. С. 161–167. DOI: 10.34773/EU.2023.6.30.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Уфимского федерального исследовательского центра РАН № 075-01134-23-00 на 2023 год и на плановый период 2024 и 2025 годов.

2. В имитационной среде AnyLogic разработана агент-ориентированная модель прогнозирования численности населения по городам РБ с учетом миграционной компоненты.
3. На базе экспериментов с имитационной моделью получены прогнозы изменения численности населения для последующих десяти лет в крупных и малых городах РБ (на примере г. Уфы и г. Агидели). Ожидается дальнейшее старение и снижение численности населения, вследствие чего требуется принятие дополнительных мер поддержки рождаемости. Особенно критична ситуация для малых городов, для усиления конкурентоспособности которых необходимо развитие социальной инфраструктуры и создание рабочих мест.

Введение

В Российской Федерации складывается неблагоприятная демографическая ситуация, наблюдается естественная убыль и старение населения. Для преодоления демографического кризиса в стране приняты меры государственной поддержки рождаемости, предусматривающие выплаты для нуждающихся семей, выдачу сертификата на материнский капитал, возможность получения ипотечного займа на льготных условиях для семей с двумя и более детьми. Увеличение рождаемости и естественного прироста населения является одной из приоритетных задач социальной политики России.

Одним из фундаментальных демографических механизмов является миграция и этот процесс способен оказать существенное влияние на улучшение текущей ситуации. Естественная убыль населения может быть компенсирована миграционной компонентой, чему должна способствовать грамотно выстроенная миграционная политика.

Экономическое развитие территории находится в прямой зависимости от воспроизводства населения, также наблюдается и обратная связь [1]: благополучные регионы, характеризующиеся высоким уровнем жизни, отличаются лучшими показателями рождаемости и являются центрами притяжения трудоспособного населения молодого возраста, ориентированного на создание семьи и деторождение, что также способствует улучшению демографических показателей.

Все вышеперечисленное справедливо и для Республики Башкортостан, как одного из субъектов Российской Федерации. В республике также наблюдается естественная убыль и старение населения, однако можно отметить, что демографическая ситуация в крупных экономически развитых городах гораздо лучше, чем в небольших, в которых отсутствует крупное производство и нет достаточного количества рабочих мест.

Государственное регулирование диспропорций в развитии отдельных территорий обуславливает необходимость прогнозирования демографических показателей, что требует разработки моделей оценки численности населения.

В настоящее время все большую популярность приобретает агент-ориентированное моделирование, показавшее высокую эффективность и достоверность в прогнозировании социально-экономических процессов, в том числе демографических и миграционных.

В.Л. Макаров и А.Р. Бахтизин [4] разработали демографическую модель Евросоюза, в которой процессы воспроизводства населения и миграции имитируются на основе поведения отдельных членов искусственного общества. Е.Б. Олейник [6] исследовал особенности, достоинства и недостатки различных моделей миграционных процессов, разработал рекомендации по выбору математических инструментов для моделирования. А.С. Акопов, Г.Л. Бекларян [2] предложили метод оптимизации структуры занятости через модель ограниченного соседства для решения проблемы перераспределения трудовых ресурсов между отраслями. Г.Б. Клейнер, М.А. Рыбачук [3] исследовали менталитет экономических агентов в поисках модели равновесия на основе агент-ориентированного подхода. Авторы Krebs и Hernández [8] обосновали преимущества использования агент-ориентированных моделей для исследования демографических процессов. В [9] авторы Li и Hu проанализировали возможность применения агент-ориентированного моделирования для изучения процессов миграции и возникновения эпидемий.

Целью исследования является разработка и апробация агент-ориентированной модели прогнозирования динамики численности населения в городах Республики Башкортостан с учетом миграционной компоненты. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи: анализ статистических данных по динамике изменения численности населения в городах РБ, разработка агент-ориентированной модели воспроизводства населения в среде AnyLogic и ее апробация на примере крупного мегаполиса – г. Уфы и Агидели, небольшого города-спутника Башкирской АЭС.

Методы и результаты

В ходе исследования были проанализированы статистические данные по миграции, численности и составу населения за 2017–2022 годы, предоставленные Территориальным органом федеральной службы государственной статистики по Республике Башкортостан [5;7].

С помощью инструментального средства AnyLogic была построена имитационная модель воспроизводства населения с учетом миграционной компоненты. На базе экспериментов с имитационной моделью получены прогнозы изменения численности населения для последующих десяти лет в крупных и малых городах Республики Башкортостан (на примере г. Уфы и г. Агидели).

В целом по городам Республики Башкортостан наблюдается тенденция к сокращению численности населения (таблица), особенно наглядно это прослеживается на примере малых городов – Агидели, Кумертау, Салавата. В Сибее, Октябрьске, Стерлитамаке имеются незначительные колебания как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения численности населения. Более стабильный рост численности населения наблюдается в крупном мегаполисе, центре промышленного производства – г. Уфе, что также свидетельствует о процессах образовательной и трудовой миграции населения из малых городов и сельской местности в столицу Республики. Нефтекамск демонстрирует устойчивый рост численности населения.

Изменение численности населения по городам РБ с 2017–2022гг.

Численность населения на начало текущего года	2017	2018	2019	2020	2021	2022
г. Уфа	1126098	1131429	1135480	1140273	1137500	1146559
г. Агидель	15281	14959	14601	14219	13935	13616
г. Кумертау	64763	64055	63608	63308	62881	62581
г. Нефтекамск	138314	139263	140504	142255	142894	143482
г. Октябрьский	113929	113827	114194	114100	113737	114131
г. Салават	153181	152354	151571	150500	148947	147739
г. Сибай	62067	62324	62391	61817	61032	60627
г. Стерлитамак	280233	279626	278127	276394	274134	275022

На рисунке 1 представлены данные о рождаемости и смертности по городам РБ за 2021 год. Во всех городах коэффициенты смертности преобладают над коэффициентами рождаемости. Следовательно, миграционные процессы оказывают значительное влияние на рост численности населения в крупных городах РБ.

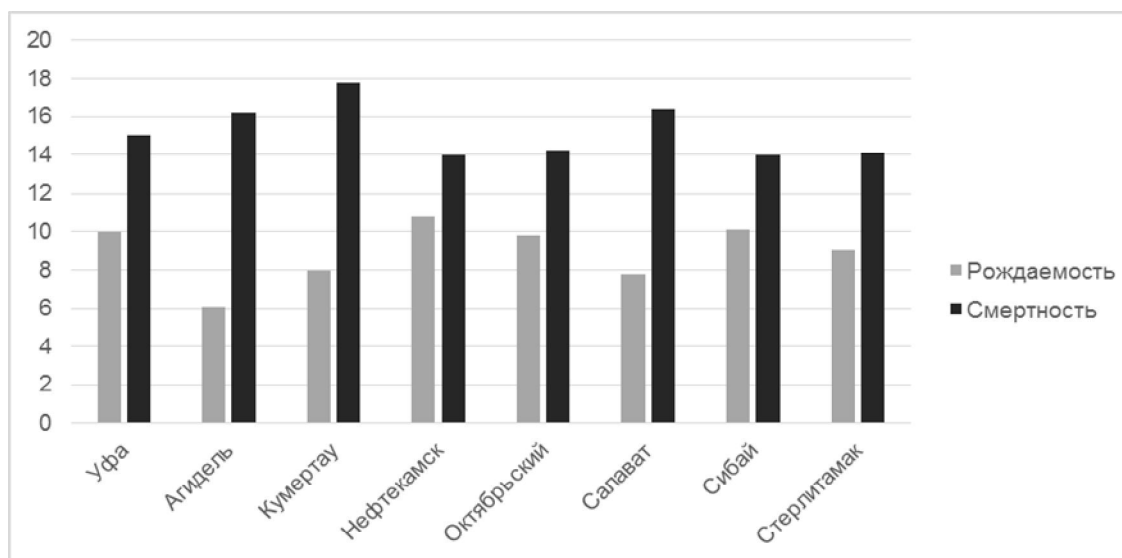


Рис. 1. Гистограмма общих коэффициентов рождаемости и смертности по городам РБ, промилле

При разработке концепции агент-ориентированной модели прогнозирования численности населения по городам РБ был определен ее общий замысел, состоящий в имитации демографических процессов – рождаемости, смертности, взросления агентов, вступления в брак, деторождения. Агенты в модели делятся на категории: дети, женщины, мужчины, пожилые, мигранты. Средой, в которую помещены агенты, являются города Республики Башкортостан. Такие статистические показатели, как доля населения в трудоспособном возрасте, старше и моложе трудоспособного возраста, доля мигрантов, коэффициент рождаемости, коэффициент смертности, численность населения в разрезе городов РБ, являются исходной информацией для модели.

При имитации процессов воспроизводства населения происходит динамическое изменение состава популяции агентов – удаление (смерть) части агентов при достижении определенного возраста и возникновение (рождение) новых. Процедура выбывания агентов реализована следующим образом: для каждого агента вероятностным образом решается вопрос о его сохранении или уничтожении, а в качестве вероятности выбывания агента используются коэффициенты смертности, дифференцированные по полу и возрасту. Оставшиеся агенты становятся на год старше.

Для агента в течении его жизни характерно три состояния: молодой (junior), взрослый (adult), пожилой (senior), для каждого состояния заданы возрастные интервалы. Во взрослом репродуктивном возрасте агент мужского пола создает семью, для этого он ищет пару, агента женского пола, не состоящего в браке. Этот процесс цикличен – осуществляется перебор вариантов, в случае успеха создается семья. Далее принимается решение о рождении ребенка, появляется новый агент, который заносится в коллекцию «дети». В модели максимальное желаемое число детей в семье – это случайная величина, принимающая значение от одного до семи с заданным бета-распределением, смещенным влево (максимум приходится на двоих детей). Диаграмма состояния агента People (слева) и связи агентов типа «супруги», «родители и дети» (справа) представлены на рисунке 2.

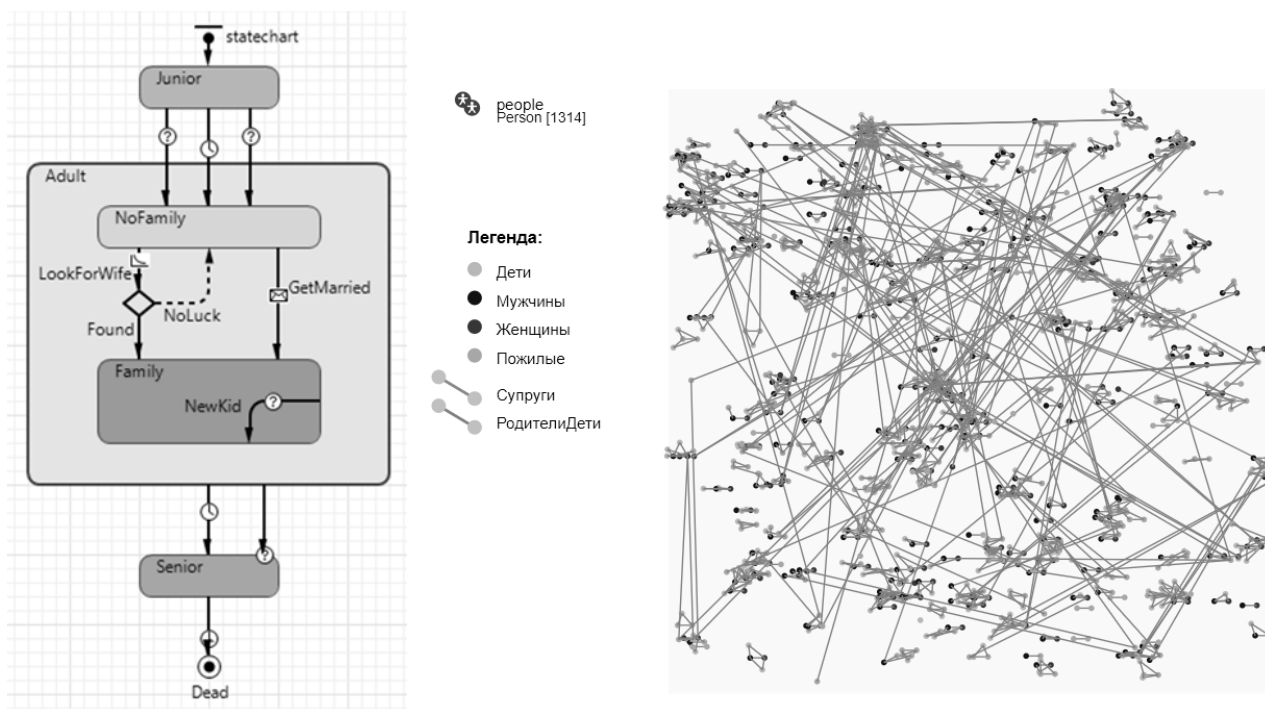


Рис. 2. Диаграмма состояния агента Person и связи агентов типа «супруги», «родители и дети»

В ходе имитации демографических процессов идет сбор статистики: количества детей, взрослых мужчин, взрослых женщин, пожилых людей, мигрантов. Статистические данные выводятся на диаграммы с накоплением во временном интервале, соответствующем прогнозу на 10 лет.

На рисунках 3 и 4 представлены результаты прогнозирования численности населения в городах Уфы и Агидели с 2024 по 2034 годы. Для г. Уфы будет характерно старение населения и увеличится количество лиц старше трудоспособного возраста, показатели рождаемости сохранятся на прежнем уровне, приток мигрантов будет стабilen. Возникнет необходимость поддержки пожилых граждан и обеспечения социальных выплат, возрастет нагрузка на сферу здравоохранения. Тем не менее, численность граждан трудоспособного возраста и темпы воспроизводства населения будут способствовать развитию Уфы, строительству предприятий, реализации проектов, направленных на улучшение транспортной и социальной инфраструктуры.

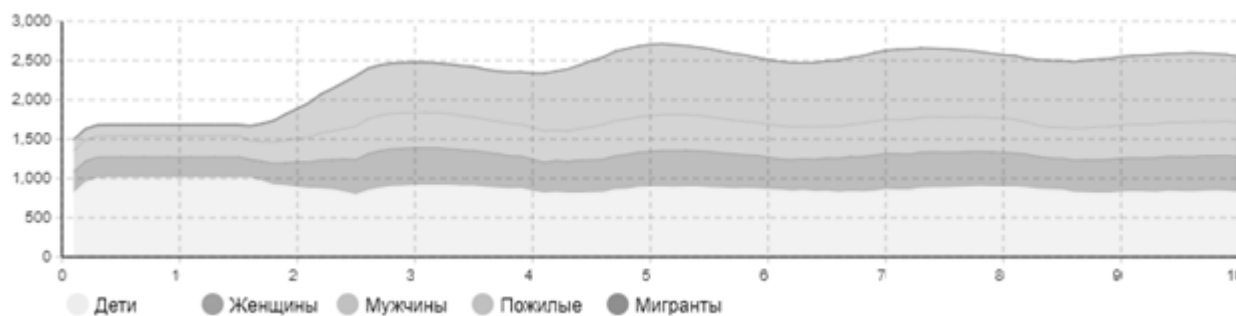


Рис. 3. Прогноз изменения численности населения г. Уфы с 2024 по 2034 годы

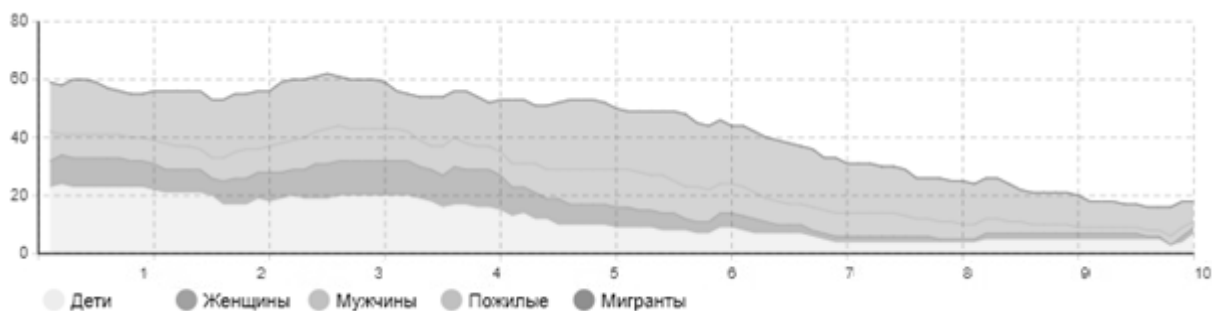


Рис. 4. Прогноз изменения численности населения г. Агидель с 2024 по 2034 годы

Для малых городов на примере г. Агидели прогноз неблагоприятный, показатели рождаемости снизятся, численность населения будет сокращаться, вероятен миграционный отток в экономически более развитые регионы. Таким образом, можно сделать выводы, что необходим комплексный подход к развитию малых и средних городов Республики Башкортостан, включающий следующие меры: поддержку предпринимательской деятельности, создание новых рабочих мест, развитие социальной инфраструктуры, создание сети образовательных, лечебно-профилактических, культурных учреждений. Особо важное значение приобретает поддержка образовательных учреждений, открытие филиалов ведущих вузов в малых городах, поскольку эти меры способны уменьшить миграционный отток молодежи, стремящейся получить квалификацию и профессию.

Обсуждение и заключение

В ходе проведенных исследований демографической и миграционной ситуации в городах Республики Башкортостан была разработана агент-ориентированная модель прогнозирования численности населения.

Можно выделить следующие преимущества агент-ориентированного моделирования по сравнению с другими подходами для исследования процессов воспроизводства и пространственной мобильности населения (моделями системной динамики, факторного анализа, гравитационными, регрессионными моделями):

1. Учет многообразия представителей моделируемого общества за счет варьирования параметров и отображения поведения каждого агента в популяции, действующего на основании своих целей.
2. Возможность отображения взаимодействия агентов, влияния на поведение друг друга и процесс принятия решений, моделирование их способности к обучению и обмену знаниями.
3. Проведение самых разнообразных экспериментов с моделируемой системой, позволяющих изучить ее реакцию на те или иные управленческие воздействия, воспроизводство различных сценариев развития социально-экономических процессов.

Эксперименты с имитационной моделью позволили получить прогноз изменения численности населения на десять лет в крупных и малых городах Республики Башкортостан на примере г. Уфы и г. Агидели. Тенденция к старению населения сохранится во всех населенных пунктах, что требует дальнейших усилий правительства в направлении стимулирования рождаемости, для чего должны быть приняты дополнительные меры по совершенствованию правовых, организационных, финансово-экономических механизмов в целях создания благоприятных условий для демографического развития. Поддержка должна быть направлена на все семьи, а не только на малоимущие. В г. Уфе, несмотря на увеличение количества пожилых лиц, в целом численность населения будет оставаться высокой, в том числе из-за притока мигрантов, и не прогнозируется снижение показателей рождаемости. Для малых городов, таких как г. Агидель, прогноз менее благоприятный, наблюдается явная тенденция к значительному сокращению численности населения и дальнейшему падению рождаемости. Усилия государственной власти

должны быть направлены на укрепление устойчивости развития малых городов РБ и эффективного использования их потенциала.

Анализ статистических данных и результатов работы имитационной модели подтвердил тесное взаимное влияние демографических и миграционных процессов. Мигрантов условно можно разделить на различные категории: высококвалифицированные специалисты, студенты, ученые, неквалифицированные работники. Создание в стране условий для развития человеческого капитала, получения образования, наличие развитой социальной инфраструктуры способно привлечь высококвалифицированных мигрантов, той группы, которая будет оказывать наиболее благоприятное влияние на развитие экономики. Приток низкоквалифицированных работников из Центральной Азии в целом также оказывает положительное влияние на рынок труда, поскольку позволяет компенсировать дефицит рабочей силы для низкотехнологичных отраслей, непопулярных у коренного населения. Для этой группы мигрантов характерен традиционный тип репродуктивного поведения, что подразумевает раннее вступление в брак и более высокую рождаемость, от чего их численность в общей популяции растет, но здесь кроме положительных моментов, выражающихся в увеличении рождаемости, есть и отрицательные, связанные с возникновением в обществе социальной напряженности и необходимости адаптации приезжих к российскому социуму.

Дальнейшие перспективы исследования заключаются в совершенствовании созданной модели и получения прогнозов изменения численности в городах Нефтекамске, Стерлитамаке, Сибее, Салавате, Кумертау, Октябрьском. Созданная агент-ориентированная модель является рабочим инструментом для отслеживания динамики воспроизводства населения, при ее дальнейшей доработке может представлять интерес для органов власти.

Литература

1. Аитова Ю.С., Орешников В.В. Подходы к моделированию взаимовлияния демографического потенциала и экономического развития регионов России // Вестник НГИЭИ. 2018. № 12. С. 69–80.
2. Акопов А.С., Бекларян Г.Л. Оптимизация структуры занятости с использованием мультисекторной модели ограниченного соседства // Вестник ЦЭМИ. 2022. № 1. Ст. 4.
3. Клейнер Г.Б., Рыбачук М.А., Ушаков Д.В. Менталитет экономических агентов и институциональные изменения: в поисках модели равновесия // Terra Economicus. 2021. Т. 19. № 4. С. 6–20.
4. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Агеева А.Ф. Искусственное общество и реальные демографические процессы // Экономика и математические методы. 2017. Т. 53. № 1. С. 3–18.
5. Миграция населения / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Республике Башкортостан [Электронный ресурс]. URL: <https://02.rosstat.gov.ru/folder/25491?ysclid=logzcgc83187955886>
6. Олейник Е.Б., Ивашина Н.В., Шмидт Ю.Д. Моделирование процессов миграции населения: методы и инструменты (обзор) // Компьютерные исследования и моделирование. 2021. Т. 13. № 6. С. 1205–1232.
7. Численность и состав населения / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Республике Башкортостан [Электронный ресурс]. URL: <https://02.rosstat.gov.ru/folder/25491?ysclid=logzgl1di3s736540536>
8. Krebs V., Hernández M.J.S. Agent-based models in demography // Agent-Based Models in Population Studies. 2019. Springer. P. 35–94.
9. Li J., Hu X. Agent-Based Modelling of Human Population: A Review // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2019. Vol. 22. № 2.