

Марсель Малихович НИЗАМУТДИНОВ¹
Алсу Расилевна АТНАБАЕВА²

УДК 338.27

ИНСТРУМЕНТАРИЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО И МИГРАЦИОННОГО ДВИЖЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ РЕГИОНА НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ*

¹ кандидат технических наук, доцент,
заведующий сектором экономико-математического моделирования,
Институт социально-экономических исследований —
обособленное структурное подразделение
Уфимского федерального исследовательского центра РАН
marsel_n@mail.ru

² научный сотрудник, Институт социально-экономических исследований —
обособленное структурное подразделение
Уфимского федерального исследовательского центра РАН
alsouy@mail.ru

Аннотация

Демографическая политика Российской Федерации направлена на повышение численности населения в стране. В связи с этим управленческие решения, принимаемые на уровне регионов, направлены на привлечение квалифицированных мигрантов, повышение рождаемости и снижение смертности. С одной стороны, политика влияет на численность населения, с другой — реакция населения может скорректировать политику. В свою очередь государственные программы рассчитаны на длительный

* Исследование выполнено в рамках государственного задания № 007-00256-18-01 ИСЭИ УФИЦ РАН на 2019 г.

Цитирование: Низамутдинов М. М. Инструментарий прогнозирования естественного и миграционного движения населения региона на основе методов имитационного моделирования / М. М. Низамутдинов, А. Р. Атнабаева // Вестник Тюменского государственного университета. Социально-экономические и правовые исследования. 2019. Том 5. № 4 (20). С. 155-168.

DOI: 10.21684/2411-7897-2019-5-4-155-168

промежуток времени, и возникает необходимость в оценке эффективности принимаемых решений. Для этого нами предложена концепция агент-ориентированной модели демографических процессов на региональном уровне и разработана непосредственно агентная модель, которая нацелена на появление точности прогнозирования численности населения в условиях изменения социально-экономических показателей. В качестве агентов представлены «Человек» и «Регион», каждый из которых обладает своим набором характеристик. Для описания логики поведения агентов применялись статистические (регрессионный и кластерный анализ) и вероятностные (Бернулли, гамма-, бета-, экспоненциальное распределение) методы. Жизненный цикл агента «Человек» представлен в разработанной диаграмме состояний. Апробация агент-ориентированной модели проводилась в рамках задачи прогнозирования численности населения конкретного региона — Республики Башкортостан. В статье также приведены результаты экспериментальных исследований по двум сценариям развития экономики региона (базовому и консервативному). Представлена оценка изменения уровней рождаемости, смертности и миграции на основе применения кластерного и регрессионного анализа.

Ключевые слова

Демографические процессы, миграция, естественное движение населения, агент-ориентированная модель.

DOI: 10.21684/2411-7897-2019-5-4-155-168

Основная часть

На сегодняшний день демографическая политика страны направлена на повышение уровня рождаемости, уменьшение смертности и миграционного оттока населения. Управленческие решения, необходимые для регулирования данных показателей, принимаются на региональном уровне. В связи с этим необходимо формирование эффективных стратегических решений. Для выполнения данной задачи представляется целесообразной разработка демографической модели региона, позволяющей проводить экспериментальные расчеты и обосновывать сценарии развития. Эффективным инструментом является метод имитационного моделирования микро- и макропроцессов. На сегодняшний день как отечественные, так и зарубежные исследователи большее внимание уделяют тому, как социально-экономическая среда влияет на поведение человека [2, 6, 10-11]. Социально-экономическая среда — это место с географически определенными границами, которое также имеет экономические, социальные, информационные и институциональные характеристики. В этом контексте создание модели демографического развития региона, которая будет включать в себя взаимодействующих друг с другом экономических агентов, является актуальной задачей. В статье представлена модель региона для задач прогнозирования численности населения на основе агент-ориентированного моделирования (АОМ). Агент-

ориентированная модель — это совокупность агентов, их характеристик, правил поведения и взаимодействия друг с другом. Отличительной особенностью АОМ является возможность моделирования реакций агентов на внешние социально-экономические факторы и формирование механизмов регулирования численности населения.

В качестве объекта исследования выбран регион с естественным приростом населения (на 2018 г.) — Республика Башкортостан. На основе проведенного анализа поведения человека и влияния на него внешней среды была разработана концепция, описывающая поведение человека, максимально приближенное к реальности (рис. 1). АОМ представлена как набор элементов: агентов («Человек» и «Регион») и блоков естественного и миграционного движения. Для этого были учтены социально-экономические показатели регионов, в которых «проживают» агенты, а также правила поведения человека в определенных условиях.

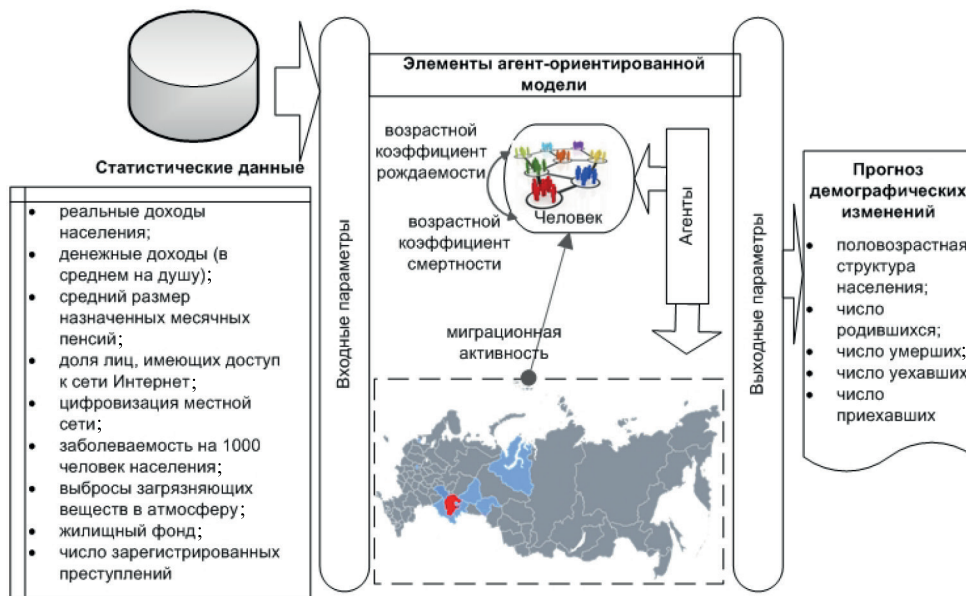


Рис. 1. Концепция агент-ориентированной модели демографических процессов на региональном уровне

Fig. 1. The concept of an agent-based model of demographic processes at the regional level

Для анализа социально-экономических факторов, влияющих на уровень жизни населения, были рассмотрены социальные, экономические, информационные показатели и показатели для сферы здравоохранения. На основе корреляционно-регрессионного анализа были сформированы индивидуальные группы показателей рождаемости, смертности и миграции с учетом возраста и пола, а также получены соответствующие уравнения регрессии, описания которых представлены в ранее опубликованных статьях [1, 7]. На рис. 1 представлен фрагмент схемы, на базе которой проведена оценка влияния социально-эконо-

мических показателей на поведение агентов. В качестве входных данных выступают социально-экономические показатели региона, значения которых формировались на основе долгосрочного прогноза Министерства экономического развития Республики Башкортостан (см. рис. 2).

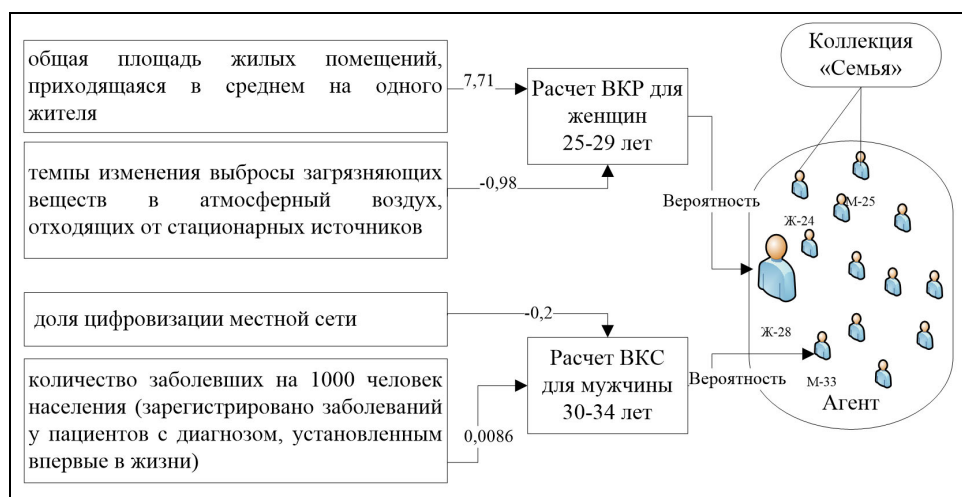


Рис. 2. Фрагмент схемы оценки влияния социально-экономических факторов на поведение агентов

Fig. 2. A fragment of the scheme for assessing the impact of socio-economic factors on agent behaviour

Результаты моделирования формируются в виде статистических данных и выгружаются во внешний Excel-файл в виде табличных данных. В качестве выходных данных выступают:

- численность населения;
- половозрастная структура населения;
- численность населения по трудоспособному возрасту;
- число родившихся в отчетном периоде;
- число умерших;
- число уехавших и приехавших в регион.

Для описания логики поведения агентов в модели применялись следующие экономико-математические методы [4]:

- метод передвижки возрастов для определения возрастной структуры населения;
- вероятностные методы (Бернулли, гамма-, бета-, экспоненциальное распределение) для описания поведения агентов, наиболее приближенного к реальности;
- статистические методы (регрессионный и кластерный анализ), необходимые для прогнозирования значений социально-экономических показателей региона и их влияния на коэффициенты смертности, рождаемости и миграции.

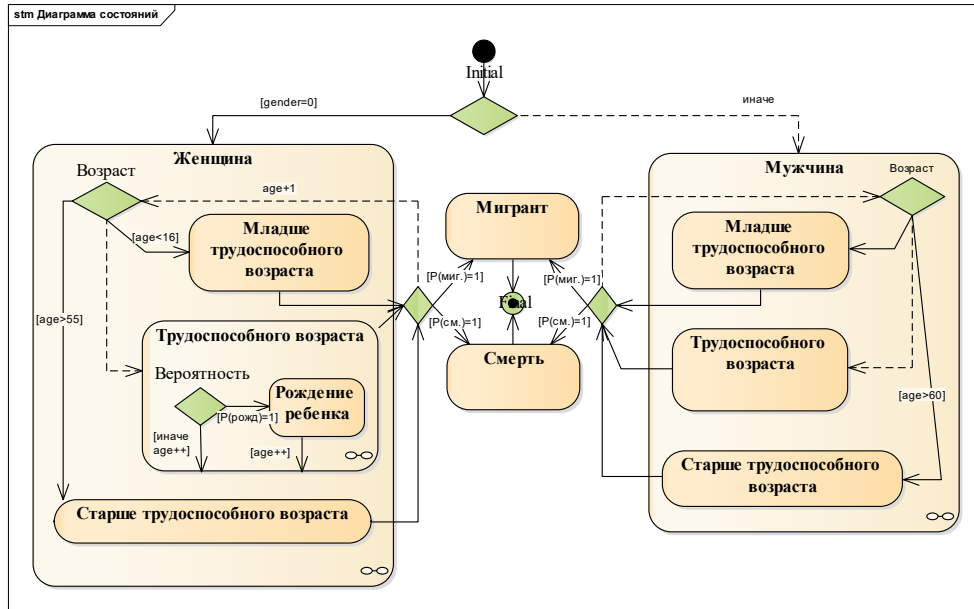


Рис. 3. Диаграмма состояний агента «Человек»

Fig. 3. State diagram of the agent «Person»

Для описания поведения агента в модели построена диаграмма состояний, которая представлена в виде блоков и переходов, описывающих все возможные состояния, в которых может находиться агент (рис. 3). Алгоритм описывает два псевдосостояния: начальное, в котором находится вновь созданный агент, и конечное состояние, которое агент не может покинуть. Диаграмма разделена на 2 больших блока, которые характеризуют состояния агентов женского и мужского пола. Отличие этих блоков заключается в том, что для агентов женского пола есть блок состояний «репродуктивный возраст», в котором реализован механизм создания нового агента.

Проверка вероятности перехода агента из одного состояния в другое и сам переход осуществляется один раз в год, путем сопоставления коэффициентов смертности и миграции. Таким образом, жизнь агентов в модели зациклена, период изменения состояния составляет один календарный год. За этот период агент может перейти в одно из новых состояний (рождение агента, смерть и миграция) или остаться в исходном состоянии, поменяв индивидуальные характеристики в соответствии с заданной логикой.

Для обеспечения адекватности модели были введены такие характеристики агента:

1. «Возраст» — переменная принимает целочисленные значения.
2. «Пол» — это коэффициент, определяющий гендерную принадлежность агента. Может принимать значение 0 (женщина) или 1 (мужчина). Для вновь созданных «родившихся в модели» агентов — «детей» коэффициент

определяется на основе расчета вероятности Бернулли (0,52), что соответствует логике «на 100 девочек рождается в среднем 105 мальчиков (с отклонениями от 104 до 107)» [3].

3. «Место жительства» — данный показатель делит население на городское и сельское, без привязки к географическому расположению.
4. «Интеллект IQ» — это коэффициент оценки общего уровня интеллекта по шкале IQ. Расчет уровня IQ формируется на основе результатов исследований [9], которые утверждают, что уровень интеллекта среди населения подчиняется нормальному закону распределения, где средним значением является 100 баллов и стандартное отклонение 15 ($normal(100, 15)$).
5. «Вид экономической деятельности» — переменная принимает целочисленные значения, соответствующие одному из 15 видов экономической деятельности. Для этого была построена функция вероятностного гамма-распределения, которая имеет вид $F(x) = \text{gamma}(1, 15, 2, 0, 3)$, где 1-15 — это диапазон значений, 2 — альфа, порядок смещения распределения, 3 — значение, показывающее, насколько будет растянуто распределение (см. рис. 4).



Рис. 4. Доля трудоспособного населения по видам экономической деятельности

Fig. 4. The share of the working population by types of economic activity

6. «Желаемое число детей» — это количество детей, которое женщина хочет иметь в «идеальных» условиях. На желаемое число детей влияют репродуктивные установки и социально-экономические факторы, формирующие благоприятные или неблагоприятные условия. В основе расчетов вероятностного распределения данного показателя использованы результаты обследования «Семья и рождаемость», проведенного Росстатом [5]. Так, свыше половины респондентов (57,7% женщин) при наличии всех необходимых условий хотели бы иметь двоих детей, а немногим более четверти (25,2% женщин) — троих. С учетом этих данных использовано

экспоненциальное распределение для определения желаемого количества детей, которое имеет вид $exponential(0, 4, 0, 1)$.

7. «Фактическое число детей» — в отличие от предыдущих показателей, рассчитывается в модели и хранит информацию о количестве родившихся детей у одного агента женского пола.

Также в модели реализовано три блока поведения агента «Человек»:

1. Рождение. Данное состояние характерно только для агентов женского пола в возрасте от 15 до 44 лет. Для каждого агента формируются такие показатели, как желаемое и фактическое количество детей. Первый показатель формируется на основе уровня доходов семьи и жилищных условий. Вероятность рождения нового агента определяется путем расчета возрастного коэффициента рождаемости. Для этого был проведен регрессионный и корреляционный анализ на статистических данных по Республике Башкортостан за 2001-2018 гг., в итоге было построено 6 линейных функций демографического потенциала [7].
2. Смерть. Вероятность возникновения неблагоприятного события сопровождает агента на протяжении всего периода проведения эксперимента. В начале каждого годового цикла для агента рассчитывается вероятность смерти на основе возрастного коэффициента смертности, который, в свою очередь, зависит от социально-экономических характеристик региона. В случае, если вероятность будет равна единице, то агент удаляется из модели. Для каждого имитационного периода рассчитываются свои коэффициенты смертности в зависимости от социально-экономических характеристик региона с применением корреляционно-регрессионного анализа. Результаты исследования представлены в работе [1, с. 83].
3. Миграция. В модели рассматриваются два вида миграции — положительная и отрицательная, которые характеризуют количество прибывших и выбывших из региона человек соответственно. На протяжении всего периода проведения эксперимента агент может принять решение о переезде. Для каждого агента «Человек» проводится сравнительный анализ уровня заработной платы и уровня жизни относительно других регионов. Если данное значение выше порогового, агент (с определенной вероятностью) принимает решение о переезде и удаляется из модели. Агенты, приехавшие в регион, создаются в модели с определенными половозрастными характеристиками в зависимости от причины миграции. Для этого были построены 2 линейные функции миграционной активности, описание которых приведено в работе [7].

Для учета половозрастной специфики мигрантов были выявлены пропорциональные отношения по причинам миграции. За последние 10 лет средняя доля убывших в связи с учебной составила 17%, трудовой — 13%, остальная часть характеризует миграцию по другим причинам и составляет 70%. В учебной миграции участвуют агенты в возрасте от 18 до 24 лет, что характеризует

поведение абитуриентов при поступлении в вузы. В трудовой миграции участвуют агенты в возрасте от 25 до 55 лет для женщин и до 60 для мужчин. В связи с тем, что разброс мигрантов в этой возрастной группе неравномерный, применяется гамма-распределение миграционной активности, которое имеет вид $F(x)=\text{gamma}(25,60,30,1,1)$, где 25-60 — это диапазон значений, 30 — порядок смещения распределения, 1 — значение, показывающее, насколько будет растянуто распределение.

Миграция по другим причинам включает в себя значительную долю (70%) из всех мигрантов. В связи с этим в модели был создан агент «Регион», который включает в себя регионы, куда, по статистике, мигрируют чаще всего. Для реализации миграционного поведения агентов для каждого агента «Регион» задается параметр «Уровень жизни», который рассчитывается по данным рейтингового агентства «РИА Рейтинг» [8]. Далее для каждого агента на основе уровня заработной платы и уровня IQ рассчитывается предпочтительный уровень жизни. После расчета порогового значения сопоставляются значения агента со значением параметра «Уровень жизни» в Республике Башкортостан; если пороговое значение выше, рассчитывается вероятность миграции агента на основе коэффициента миграции.

Апробация агент-ориентированной модели для решения задачи прогнозирования

При построении агент-ориентированной модели использовались данные из приведенных ниже источников:

1. Статистический сборник «Республика Башкортостан в цифрах» (с 2010 по 2017 г.).
2. Статистический сборник «Социально-экономическое положение Республики Башкортостан в январе-июне 2019 года».
3. Стратегия социально-экономического развития Республики Башкортостан на период до 2030 года, утвержденная Постановлением Правительства Республики Башкортостан от 20.12.2018 № 624.
4. Долгосрочный прогноз социально-экономического развития Республики Башкортостан на период до 2030 года, одобренный распоряжением Правительства РБ от 26 декабря 2016 года № 1497-р.

Разработанная агент-ориентированная модель позволяет проводить вычислительные эксперименты по оценке влияния социально-экономических факторов на демографическую ситуацию в регионе. Перед проведением вычислительных экспериментов необходимо проверить адекватность модели с целью обеспечения точности получаемых прогнозных значений.

Для оценки модели были проведены 10 экспериментов с одинаковыми входными параметрами. Как видно из таблицы 1, расчетные данные отличаются от фактических примерно на 2%, что подтверждает высокую прогностическую способность модели.

Таблица 1

Численность населения Республики Башкортостан, тыс. человек

Table 1

The population of the Republic of Bashkortostan, thousand people

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Фактические данные	4 072	4 064	4 060	4 069	4 072	4 071	4 067	4 063
Эксперимент 1	4 070	4 071	4 071	4 071	4 072	4 073	4 069	4 066
Эксперимент 2	4 072	4 064	4 063	4 068	4 069	4 068	4 065	4 054
Эксперимент 3	4 074	4 070	4 070	4 064	4 070	4 070	4 070	4 070
...
Эксперимент 10	4 066	4 062	4 058	4 068	4 077	4 082	4 083	4 075
Среднее значение экспериментов	4 072	4 065,5	4 059	4 067,6	4 073	4 071	4 066	4 062

Для прогнозирования численности населения были использованы прогнозные значения социально-экономических показателей Республики Башкортостан и темпы их изменения, представленные Министерством экономического развития по двум сценариям — базовому и консервативному. В соответствии с редакцией Постановления Правительства Российской Федерации от 18.05.2019 № 615, «Базовый вариант (Б) среднесрочного прогноза характеризует основные тенденции и параметры развития экономики в условиях консервативного изменения внешних условий. Консервативный вариант (К) среднесрочного прогноза разрабатывается на основе консервативных оценок темпов экономического роста с учетом возможности ухудшения внешнеэкономических условий».

На основе представленных показателей было проведено 10 экспериментов по базовому и консервативному сценариям. Так как в модели заложены множественные вероятностные характеристики и при каждом проведенном эксперименте выходные данные не совпадали, в качестве прогноза были рассмотрены средние значения по всем экспериментам. Разработанная модель дает возможность получать результаты прогнозирования за любой период времени, ограничением является лишь наличие прогнозных данных социально-экономических факторов или их темпов роста.

На рис. 5 представлены данные по двум сценариям социально-экономического развития Республики Башкортостан. Количество агентов с 2020 г. в обоих сценариях убывает, и сценарии отличаются лишь темпами снижения численности населения. В частности, можно сделать вывод, что разница по темпам роста заработной платы в 2% может привести к разнице в снижении численности населения в 17 тыс. человек.

На примере базового сценария рассмотрим подробнее естественное и миграционное движение населения. Эксперименты, проводимые по базовому

сценарию, показывают, что численность населения в ближайшие 10 лет снизится примерно на 2%, что объясняется естественной убылью и высокой миграционной активностью населения в Республике Башкортостан (рис. 6).

Для прогноза населения по трудовым группам использовалось значение пенсионного возраста до реформы 2018 г. (женщины — 55 лет, мужчины — 60 лет). В период до 2030 г. произойдут значительные изменения в численности населения в отдельных возрастных группах и количественных соотношениях между ними. Уменьшение числа трудоспособного населения и повышение числа пенсионеров изменит социально-экономическое развитие региона.

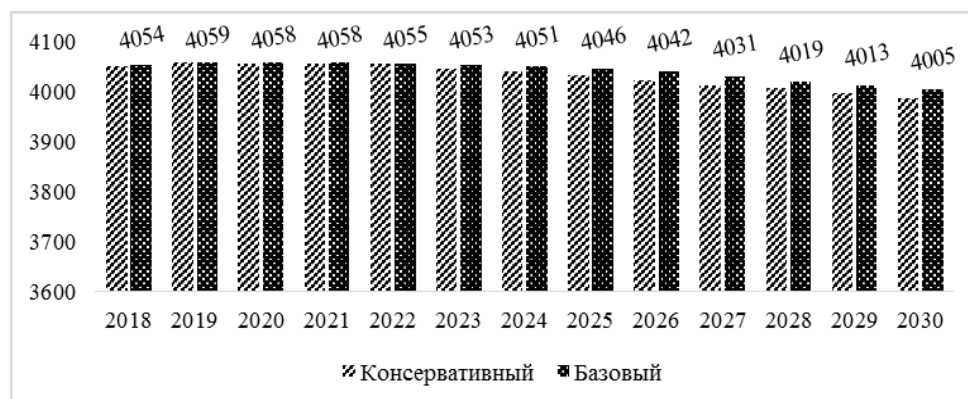


Рис. 5. Численность населения с 2018 по 2030 г., тыс. человек

Fig. 5. Population in 2018-2030, thousand people

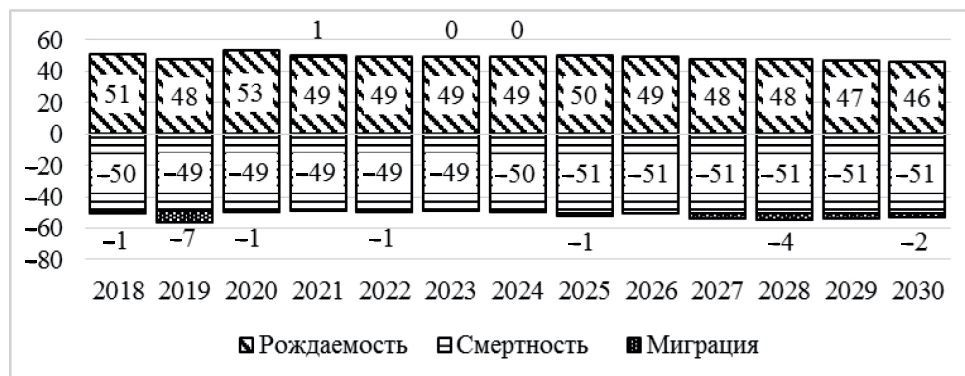


Рис. 6. Естественное и миграционное движение населения (базовый сценарий), тыс. человек

Fig. 6. Natural and migration movement of the population (basic scenario), thousand people

Заключение

Исследования в области имитационного моделирования миграционного поведения людей ведутся довольно давно. Однако для того, чтобы отразить поведение реального мира, необходима глубокая детализация правил. В связи с этим любая поставленная задача требует разработки своего АОМ. В статье представлена концепция агент-ориентированной модели демографических процессов на региональном уровне, которая основана на идее учета пространственной мобильности и территориального размещения человеческого капитала на основе имитационного моделирования микропроцессов (поведения человека). С целью сценарного прогноза динамики численности населения региона разработана агент-ориентированная модель демографических процессов, отличительной особенностью которой является возможность оценки влияния социально-экономических характеристик региона на поведение человека. Модель позволяет проследить динамику естественного и миграционного движения населения на уровне микропроцессов, а именно оценить реакцию агентов на управляющие воздействия и обосновать меры механизмов регулирования численности населения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атнабаева А. Р. Исследование естественного движения населения в Республике Башкортостан с применением параметрического метода / А. Р. Атнабаева // Известия УНЦ РАН. 2019. № 3. С. 81-86.
2. Бахтизин А. Р. Агент-ориентированные модели экономики / А. Р. Бахтизин. М.: Экономика, 2008. 279 с.
3. Бедный М. С. Мальчик или девочка?: (медико-демографический анализ) / М. С. Бедный. М.: Статистика, 1980. 119 с.
4. Гайнанов Д. А. Концепция агент-ориентированной модели регионального развития / Д. А. Гайнанов, Е. А. Гафарова // Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений: труды Третьей международной конференции. 2015. С. 180-183.
5. Краткие итоги пилотного обследования «Семья и рождаемость». URL: https://www.gks.ru/free_doc/2006/demogr.htm (дата обращения: 12.05.2019).
6. Макаров В. Л. Искусственное общество и реальные демографические процессы / В. Л. Макаров, А. Р. Бахтизин, Е. Д. Сушко, А. Ф. Агеева // Экономика и математические методы. 2017. Том 53. № 1. С. 3-18.
7. Низамутдинов М. М. Концептуальные и методические аспекты разработки агент-ориентированной модели демографических процессов на региональном уровне (на примере Республики Башкортостан) / М. М. Низамутдинов, А. Р. Атнабаева // Искусственные общества. 2019. Том 14. Вып. 4. URL: <https://artsoc.jes.su/S207751800007514-4-1> (дата обращения: 11.02.2020). DOI: 10.18254/S207751800007514-4
8. Рейтинг качества жизни в регионах РФ. URL: <https://ria.ru/20190218/1550940417.html> (дата обращения: 18.02.2019).

9. Fu Zhaohao. Agent-Based Modeling of China's rural-urban migration and social network structure / Fu Zhaohao, Hao Lingxin // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2018. Vol. 490. Pp. 1061-1075. DOI: 10.1016/j.physa.2017.08.145
10. Lynn R. IQ and Global Inequality / R. Lynn, T. Vanhanen. Augusta: Washington Summit Publishers, 2006. 442 p.
11. Silverman E. When demography met social simulation: a tale of two modelling approaches / E. Silverman, J. Bijak, J. Hilton, V. Dung Cao, J. Noble // *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 2013. No 16 (4). DOI: 10.18564/jasss.2327

Marsel M. NIZAMUTDINOV¹
Alsu R. ATNABAEVA²

UDC 338.27

**TOOL OF FORECASTING THE NATURAL AND MIGRATION
MOVEMENT OF THE POPULATION IN THE REGION
BASED ON SIMULATION METHODS***

¹ Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Head of the Sector of Economic and Mathematical Modelling, Institute of Social and Economic Research of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences
marsel_n@mail.ru

² Research Associate, Institute of Social and Economic Research
of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences
alsouy@mail.ru

Abstract

The demographic policy of the Russian Federation is aimed at increasing the population in the country. In this connection, management decisions made at the regional level focus at attracting skilled migrants, increasing the birth rate, and reducing mortality. On the one hand, such politics affects the size of the population; on the other hand, the reaction of the population can adjust the policy. In turn, state programs are intended for a long period of time, thus, there is a need to assess the effectiveness of the taken decisions. Therefore, the authors have proposed a concept of an agent-based model of demographic processes at the regional level. In addition, they have developed the model itself, which aims to increase the accuracy of forecasting the population in the face of changing socio-economic indicators. Each of the agents (represented by “Person” and “Region”) have their own set of characteristics. To describe the logic of the agent behavior, the authors have used statistical

* The study was carried out as part of state assignment No 007-00256-18-01 ISEI UFITs RAS for 2019.

Citation: Nizamutdinov M. M., Atnabaeva A. R. 2019. “Tool of forecasting the natural and migration movement of the population in the region based on simulation methods”. Tyumen State University Herald. Social, Economic, and Law Research, vol. 5, no 4 (20), pp. 155-168. DOI: 10.21684/2411-7897-2019-5-4-155-168

(regression and cluster analysis) and probability (Bernoulli, Gamma, Beta, exponential distribution) methods. The life cycle of the agent “Person” is presented in the developed state diagram. The testing of the agent-based model was performed in solving the problems of forecasting the population in the Republic of Bashkortostan on the basis of the prognosis data from the RF Ministry of Economic Development.

The article also presents experimental research on two scenarios of economic development (basic and conservative). An assessment of changes in fertility, mortality, and migration based on the use of cluster and regression analysis is presented.

Keywords

Demographic processes, migration, natural population movement, agent-based model.

DOI: 10.21684/2411-7897-2019-5-4-155-168

REFERENCES

1. Atnabaev A. R. 2019. “Study of the natural movement of the population in the Republic of Bashkortostan using the parametric method”. Proceedings of the Ufa Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, no 3, pp. 81-86. [In Russian]
2. Bakhtizin A. R. 2008. Agent-Based Models of the Economy. Moscow: Economics. [In Russian]
3. Bedniy M. S. 1980. Boy or Girl?: (Medical-Demographic Analysis). Moscow: Statistika. [In Russian]
4. Gaynanov D. A., Gafarova E. A. 2015. “The concept of agent-based model of regional development”. Proceedings of the 3rd International Conference “Information Technologies of Intellectual Decision Support”, pp. 180-183. [In Russian]
5. Brief results of the pilot survey “Family and Fertility”. https://www.gks.ru/free_doc/2006/demogr.htm [In Russian]
6. Makarov V. L., Bakhtizin A. R., Sushko E. D., Ageeva A. F. 2017. “Artificial society and real demographic processes”. Economics and Mathematical Methods, vol. 53, no 1, pp. 3-18. [In Russian]
7. Nizamutdinov M. M., Atnabaeva A. R. 2019. “Conceptual and methodological aspects of developing an agent-based model of demographic processes at the regional level (on example of the Republic of Bashkortostan)”. Artificial Societies, vol. 14, no 4. DOI: 10.18254/S207751800007514-4
8. RIA Novosti. 2019. “Quality of life rating in the regions of the Russian Federation”. <https://ria.ru/20190218/1550940417.html> [In Russian]
9. Fu Z., Hao L. 2018. “Agent-based modeling of China’s rural-urban migration and social network structure”. Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, vol. 490, pp. 1061-1075. DOI: 10.1016/j.physa.2017.08.145
10. Lynn R., Vanhanen T. 2006. IQ and Global Inequality. Augusta: Washington Summit Publishers.
11. Silverman E., Bijak J., Hilton J., Dung Cao V., Noble J. 2013. “When demography met social simulation: a tale of two modeling approaches”. Journal of Artificial Societies and Social Simulation, vol. 16, no 4, art. 9. DOI: 10.18564/jasss.2327