



Artificial societies. 2013-2020

ISSN 2077-5180

URL - <http://artsoc.jes.su>

All right reserved

Issue 4 Volume 14. 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)

A. Atnabaeva

*Institute of Social and Economic Research USC RAS
Russian Federation, Ufa*

N. Marsel

*Institute of Social and Economic Research - Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the
Russian Academy of Sciences
Russian Federation, Ufa*

Abstract

In the realities of modern society, political conflicts and social tension, the main goal of the demographic policy of the Russian Federation is to stabilize the population and create conditions for its growth. Management decisions taken to regulate these indicators are made at the regional level. In this regard, the analysis of the relationship of human behavior and changes in socio-economic policy, as well as the possibility of scenario forecasting of the population at the regional level is an urgent task. Based on the regression and correlation analysis, dependencies in human behavior and changes in the socio-economic indicators of the region are revealed. A class diagram of the agent-based model of demographic processes at the regional level with the identification of key economic agents affecting the population was developed.

Keywords list (en): conceptual model, agent-based model, demographic processes, region

Date of publication: 19.12.2019

Acknowledgment:

Citation link:

Atnabaeva A., Marsel N. 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*. 2019. V. 14. Issue 4 [Electronic resource]. Access for registered users. URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800007514-4-1/> (circulation date: 28.09.2020). DOI: 10.18254/S207751800007514-4

1 >В соответствии с Указом Президента РФ от 09.10.2007 № 1351 «Демографическая политика Российской Федерации направлена на увеличение продолжительности жизни населения, сокращение уровня смертности, рост рождаемости, регулирование внутренней и внешней миграции, сохранение и укрепление здоровья населения, и улучшение на этой основе демографической ситуации в стране» [6]. В реалиях современного общества - политических конфликтов и социальной напряженности - поставленные выше задачи требуют обеспечения поступательного развития отдельных территорий страны во всех ключевых сферах. При этом обеспечение подобного развития в масштабах страны требует значительных финансовых ресурсов, а ключевой проблемой государства является ограниченность бюджетных средств. В связи с этим, выявление наиболее приоритетных направлений развития, положительно влияющих на демографические параметры, является актуальной задачей. Особо остро данная проблема представлена на региональном уровне. Например в Республике Башкортостан, которая долгое время характеризовалась как традиционно сильный регион с естественным приростом населения, наблюдается переход к естественной убыли. Все это говорит о том, что существующая демографическая политика устарела и необходимо переходить к новым подходам и разрабатывать действенные мероприятия по управлению социально-экономической ситуацией в регионе. На первом этапе для этого необходимо построить адекватную модель прогнозирования численности населения на долгосрочный и краткосрочный период. Для этого требуется проанализировать и спрогнозировать динамику изменения естественного и миграционного движения населения, выявить причинно-следственные связи между экономическими агентами региона. Наиболее подходящим для этого инструментом является агентная модель, которая позволяет оценивать реакцию множества агентов микроуровня на изменение параметров мезо- и макроуровня.

2 Основополагающим показателями демографического развития региона являются численность населения, число родившихся, умерших, прибывших и выбывших из региона. Они позволяют в полной мере охарактеризовать социально-демографическую ситуацию. Таким образом, для эффективного прогнозирования демографического развития региона необходимо формирование модели с высоким уровнем адекватности. Имитационное моделирование развития регионов рассматривались многими российскими и зарубежными учеными. Так, например, в работах Silveira J.J., Espindola A.L., Penna T.JP., [9] представлена концепция движения сельского и городского населения, в которой представлены новые свойства, характерные для развивающихся стран, такие как переходная динамика, которая описывает непрерывный рост городского населения. В работах Eric Silverman и Jakub Bijak представлена агент-ориентированная модель динамики смертности, рождаемости и формирования партнерских отношений в замкнутой популяции [7]. Моделирование на уровне формирования семьи рассмотрены в работах Mazhar Sajjad, Karandeep Singh, Макарова В.Л., Бахтизина А.Р. и Сушко Е.Д. [2,8].

3 Однако в данных работах модели имеют узкую специализацию, некоторые созданы по специфике конкретной территории, другие не рассматривают внешние воздействия на агентов.

Каждая из этих моделей направлена на моделирование поведения человека для конкретной задачи исследования и, в большинстве случаев, адаптация существующих АОМ под другую область исследования является трудозатратной задачей. В этом контексте разработка АОМ демографического развития на региональном уровне (на примере Республики Башкортостан) является актуальной задачей.

4 Рассмотрим прогнозирование численности населения, которое включает в себя прогноз ключевых параметров демографического процесса (рождаемость, смертность, миграция). Для получения достоверного прогноза для всех трех компонентов движения населения необходимо реализовать следующие этапы исследования:

- 5 • выявление факторов, характеризующих регион в целом, и человека в частности;
- разработка концептуальной модели прогнозирования численности населения;
- моделирование (прогнозирование) естественного и миграционного движения населения.

6 В основе агент-ориентированной модели демографических процессов на региональном уровне (на примере Республики Башкортостан) лежит концепция, описывающая поведение человека, максимально приближенное к реальности. Для этого были учтены социально-экономические показатели регионов, в которых «проживают» агенты, а также правила поведения человека в определенных условиях. На рисунке 1 представлена диаграмма классов, которая включает классы агентов «Человек», «Район», «Регион», «Предприятие», «Вид экономической деятельности» и «Учебное заведение», а также отображает множество понятий и связей между ними, определяющих смысловую структуру рассматриваемой предметной области или её конкретного объекта.

7

Рисунок 1. Диаграмма классов агент-ориентированной модели демографических процессов на региональном уровне

8 Концептуальная модель демографических процессов на региональном уровне основана на разработке модели максимально приближенной к реальности, которая будет отображать характеристики человека, его поведение и реакцию на изменения социально-экономической ситуации в регионе. В качестве входной информации, которая влияет на принятие агентом решений, определены социально-экономические показатели региона, сгруппированные по 3 группам: экономические, информационные и социальные. Каждую из этих групп формируют показатели агента «Регион».

9 Моделирование демографических процессов на региональном уровне основано на расчете индивидуальных характеристик человека и внешних воздействий. Каждому агенту присваиваются свои базовые характеристики, правила поведения в модели и тенденции изменения общих показателей региона. Входные данные, необходимые для формирования начального состояния модели:

- 10 • Численность населения. В качестве исходной информации использовались результаты переписи населения РФ, а также данные оперативного статистического учета, публикуемые в официальных статистических сборниках.
- Коэффициент смертности. Показатель рассматривается по пятилетним группам для выявления зависимости уровня смертности и социально-экономических характеристик региона.
- Коэффициент рождаемости. Данный показатель был учтен при оценке вероятности

«рождения» ребенка у агента, представляющего женщину определенного возраста и обладающую определённым набором характеристик.

- Информация о количестве мигрантов по возрастам и по причинам миграции.

11 На начальном этапе моделирования популяция агентов типа «Человек» полностью повторяют соответствующую структуру населения по полу, возрасту, уровню образования и занятости в экономике в масштабе 1 к 1000. Каждый агент класса «Человек» обладает набором базовых (пол, возраст, уровень интеллекта по шкале IQ, место жительства) и расчетных (желаемое и фактическое число детей, вероятность наступления неблагоприятного события, уровень миграционной активности) характеристик. В зависимости от базовых характеристик, агенты формируют группы населения по уровням трудоспособности:

- 12
- младше трудоспособного возраста (до 16 лет). По достижению 16 лет агенты выбирают профессиональную специализацию;
 - трудоспособного возраста (от 16 до 55 лет для женщин и 60 для мужчин), агенты выбирают вид экономической деятельности (ВЭД) и на основе этого для агента устанавливается уровень оплаты труда;
 - старше трудоспособного возраста (от 55 для женщин и 60 для мужчин), для агентов определяется размер пенсионных выплат.

13 Алгоритм симуляции демографических процессов на региональном уровне в АОМ начинается с наполнения модели агентами путем считывания сведений из базы данных и формирования начального состояния модели (рис. 2). На протяжении всего периода проведения эксперимента агент подчиняется правилам, которые представлены в алгоритме в виде блоков, описывающих основные правила его поведения в течение всего жизненного цикла.

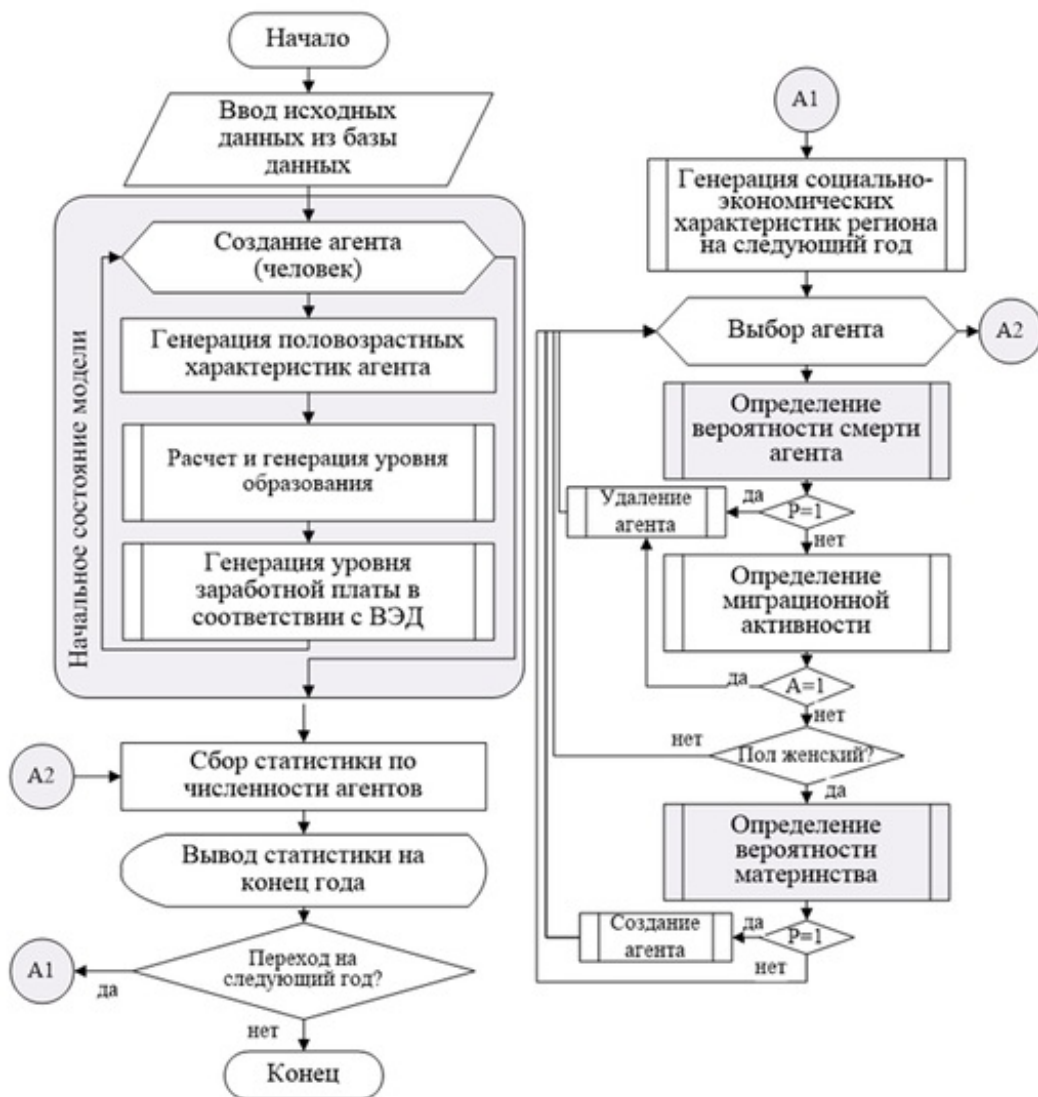


Рисунок 2. Алгоритм работы имитационной демографической модели

15 Таким образом, жизнь агентов в модели заиклена, 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 и поменяв индивидуальные характеристики в соответствии с заданной логикой.

16 Блок «Рождаемость»

17 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. Базовой переменной в данном блоке является «Вероятность рождаемости», которая рассчитывается каждый год для женщин в возрасте от 15-44 лет. Данный показатель отражает вероятность того, что агент женского пола родит ребенка в отчетном периоде. Вероятностное распределение, которое отражает поведение агента, в данном случае, тесно связано с возрастным коэффициентом рождаемости (ВКР), который, в свою очередь, связан с социально-экономическими показателями региона.

18 Анализ уровня рождаемости за последние 10 лет показал, что происходит повышение среднего возраста материнства (рис. 3). Можно предположить, что в обществе появляются 2 типа поведения женщины: современное и традиционное [4].

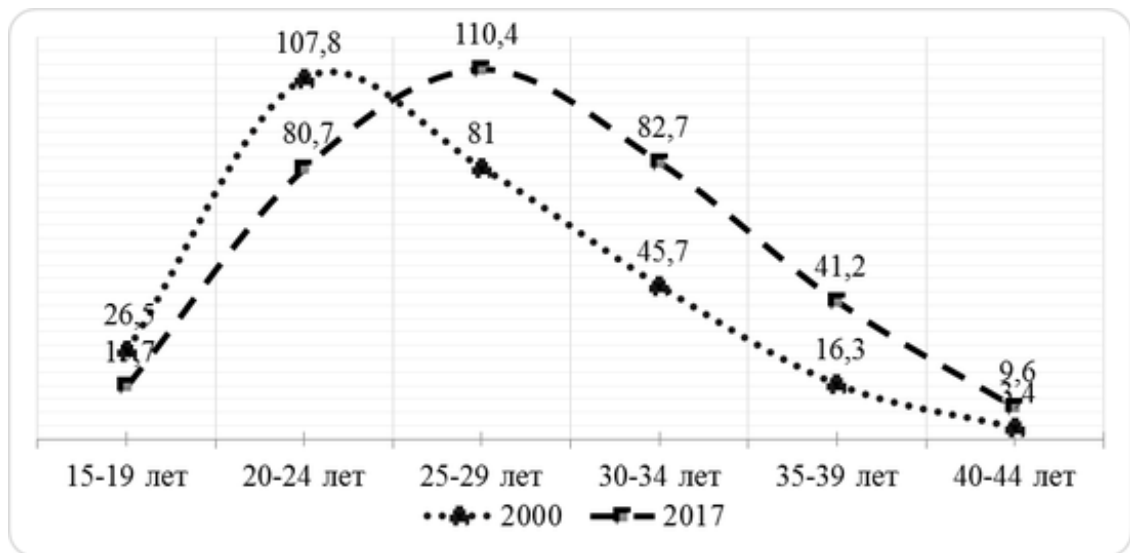


Рисунок 3. Возрастные коэффициенты рождаемости

20 Поведение (на основе полученных расчетов ВКР) подчинено закону Гамма-распределения, которое задает, в каком возрасте женщина в первый раз станет матерью. Распределение имеет вид максимально приближенный к графику на рисунке 3 и меняется каждый год для женщин фертильного возраста. В исследовании "Семья и рождаемость", проведенное Росстатом, было выявлено, что основной проблемой на пути рождения ребенка стоят [3]:

- 21 • материальные трудности - 47,8%;
- неуверенность в завтрашнем дне - 44,5%;
- жилищные проблемы - 33,3%.

22 Для оценки причинно-следственных связей между социально-экономическими факторами и коэффициентом рождаемости использовался корреляционно-регрессионный анализ. Регрессионный анализ позволяет найти связи между зависимой переменной и набором фиксированных независимых переменных. Если y - зависимая переменная, а x_1, \dots, x_n - независимые переменные, то модель линейной регрессии выглядит следующим образом:

$$23 \quad y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n + e, \quad y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n + e \quad (1)$$

24 где из переменных a и x формируется детерминированная часть модели, а e - случайная ошибка.

25 Рассмотрим регрессионное уравнение, где в качестве зависимой переменной выступает показатель «Возрастной коэффициент рождаемости». Показатели, которые влияют на решение о рождении нового агента:

26 X^b_1 - темпы роста жилищного строительства;

X^b_2 - динамика изменения размера валового регионального продукта;

X^b_3 - темпы изменения отношения среднедушевых денежных доходов населения к величине прожиточного минимума; X^b_4 - общая площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на одного жителя;

X^b_5 - динамика изменения объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от стационарных источников;

X^b_6 - среднемесячная заработная плата в ценах 2001 года;

X^b_7 - число браков в расчете на 1000 населения за год;

X^b_8 - отношение величины валового регионального продукта к величине валового внутреннего продукта;

X^b_9 - объем выбросов загрязняющих атмосферный воздух веществ, отходящих от стационарных источников, на 1 млн. рублей валового регионального продукта.

27 Регрессионный анализ был проведен на данных по Республике Башкортостан за 2001-2018 гг., в итоге было построено 6 линейных функций (табл. 1).

28 *Таблица 1. Регрессионный анализ*

29	Возрастная группа	Уравнение	Коэффициентов детерминации R^2	Критерий Стьюдента t	Критерия Фишера F
	15-19	$Y^B_1 = -27,34 + 55,03 \times X^b_1 + 15,45 \times X^b_2 - 24,66 \times X^b_3$	0,84	6,7	124,68
	20-24	$Y^B_2 = 179,66 - 42,18 \times X^b_6 + 739,05 \times X^b_8 + 2,51 \times X^b_4 - 0,71 \times X^b_9$	0,85	3,4	112,43
	25-29	$Y^B_3 = -53,14 + 7,71 \times X^b_4 - 0,98 \times X^b_5$	0,94	5,1	119,36
	30-34	$Y^B_4 = -22,76 + 3,21 \times X^b_4 + 0,004 \times X^b_6$	0,94	3,5	130,89
	35-39	$Y^B_5 = -27,77 + 2,12 \times X^b_4 + 0,003 \times X^b_6$	0,95	4,6	129,66
	40-44	$Y^B_6 = -21,65 + 1,73 \times X^b_7 + 1,11 \times X^b_6 + 129,71 \times X^b_8$	0,96	4,4	125,09

30 Полученные значения коэффициентов детерминации, критерия Фишера и критериев Стьюдента свидетельствуют об адекватности модели и статистической значимости коэффициентов регрессии

31 Далее в алгоритме расчета вероятности рождения нового агента осуществляется перебор существующих агентов и проверка принадлежности к возрастным группам женщин фертильного возраста. Проводится проверка того, что желаемое число детей меньше реального, при срабатывании условия происходит считывание социально-экономических факторов региона и расчет ВКР с применением представленных выше регрессионных уравнений. На основе полученных данных рассчитывается доля агентов женского пола, которые должны родить в этом отчетном периоде:

32
$$k_i = \text{ВКР} * N_i / 1000, (2)$$

33 где N_i - число женщин в возрастной группе (i - номер возрастной группы).

34 Полученные данные позволяют определить вероятность материнства на основе расчетов $P = \text{bernoulli}(k_i)$. В случае если $P = 1$, то в модели появляется новый агент и переменная «реальное число детей» увеличивается на единицу.

35 **Блок «Смертность»**

36 «Вероятность смерти» - переменная, которая отвечает за удаление агента из модели. Для моделирования используется возрастной коэффициент смертности, на основе которого рассчитывается вероятность удаления агента. Для каждого имитационного периода рассчитываются свои коэффициенты смертности в зависимости от социально-экономических характеристик региона с применением корреляционно-регрессионного анализа.

37 Для построения математической модели были использованы данные из единой межведомственной информационно-статистической модели (ЕМИСС), отражающие показатель уровня смертности населения и значения ее коэффициентов для Республики Башкортостан за 2008 - 2018 гг. На основе проведенного кластерного и регрессионного анализа были построены 18 уравнений регрессии по каждой возрастной группе. Более подробные результаты исследований приведены в [1].

38 **Блок «Миграция»**

39 В модели рассматриваются два вида миграции - положительная и отрицательная, которые характеризуют количество прибывших и выбывших человек из региона 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.

40 Миграционное поведение включает анализ аспектов прибытия в регион и выбытия из региона. Алгоритм имитации положительной миграции состоит из 2 этапов:

- 41 1. Определение коэффициента положительной миграции на основе корреляционно-регрессионного анализа.
2. Вероятностное распределение половозрастного состава мигрантов путем равномерного распределения между агентами мужского и женского пола и всеми возрастами с учетом ретроспективных данных о возрастном составе мигрантов.

42 Каждый из видов миграции характеризуется коэффициентом миграции, который рассчитывается в зависимости от темпов изменения социально-экономических показателей региона:

- 43 X^m_1 – средняя цена 1 кв. м общей площади квартир на рынке жилья;
 X^m_2 – общая площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на одного жителя;
 X^m_3 – отношение среднедушевые денежные доходы населения к величине прожиточного минимума;
 X^m_4 – среднемесячная заработная плата;
 X^m_5 – объем выбросов загрязняющих атмосферный воздух веществ, отходящих от стационарных источников, на 1 млн. рублей валового регионального продукта;
 X^m_6 – коэффициент напряженности на рынке труда;
 X^m_7 – отношение величины валового регионального продукта к величине валового внутреннего продукта.

44 В качестве значимой переменной были использованы показатели «доля убывших (Y^{m+})» и «доля прибывших (Y^{m-})». На основе корреляционно-регрессионного анализа были получены следующие уравнения:

- 45 1. Положительная миграция. В данной группе рассматривается население в возрасте от 0 до 85 лет.

46
$$Y^{m+} = -72,21 + 0,0001 * X^m_1 + 3,052 * X^m_2 + 2,01 * X^m_3 + 0,0001 * X^m_4, (3)$$

47 Полученные значения коэффициентов детерминации ($R^2=0,95$), критерия Фишера ($F_{\text{факт}}=23$) и критериев Стьюдента свидетельствуют об адекватности модели и статистической значимости коэффициентов регрессии.

48 1. Отрицательная миграция. В данной группе рассматривается население в возрасте от 0 до 85 лет

$$49 \quad Y^{m-} = -48,63 + 3,85 * X^m_5 - 187,38 * X^m_7 + 3,54 * X^m_2 + 1,17 * X^m_6 \quad (4)$$

50 Полученные значения коэффициентов детерминации ($R^2=0,94$), критерия Фишера ($F_{\text{факт}}=14$) и критериев Стьюдента свидетельствуют об адекватности модели и статистической значимости коэффициентов регрессии.

51 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 миграции - 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 лет 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 на сколько будет растянуто распределение.

52 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 население мигрирует чаще всего.

53 Для Республики Башкортостан характерен отток населения в такие районы как: Ханты-Мансийский АО - Югра, Челябинская область, Республика Татарстан, г. Москва, г. Санкт-Петербург, Ямало-Ненецкий АО, Московская область, Свердловская область, Оренбургская область, Краснодарский край, Удмуртская Республика, Самарская область, Пермский край.

54 Для реализации миграционного поведения агентов, для каждого агента «Регион» задается параметр «Уровень жизни», который рассчитывается по данным рейтингового агентства «РИА Рейтинг» [5]. 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, то рассчитывается вероятность миграции агента на основе коэффициента миграции.

55 Выводы. Таким образом, проведен анализ ключевых демографических процессов: рождаемости, смертности и миграции. Сформирована концепция агент-ориентированной модели демографических процессов, описаны агенты и математические модели их поведения. Представленные концептуальные и методические аспекты разработки агент-ориентированной модели демографических процессов на региональном уровне является первым шагом для формирования базы экспериментальных исследований, по оценке зависимости социально-экономических факторов и поведения населения.

1. Atnabaeva A.R. Issledovanie estestvennogo dvizheniya naseleniya v Respublike Bashkortostan s primeneniem parametricheskogo metoda. // Izvestiya UNTs RAN 2019. № 3. S. 81-86
2. Bakhtizin A. R. Agent-orientirovannye modeli ehkonomiki. // M.: Ehkonomika. 2008. 279 s.
3. Kratkie itogi pilotnogo obsledovaniya «Sem'ya i rozhdzaamost'» // Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki: ofitsial'nyj sajt. URL: https://www.gks.ru/free_doc/2006/demogr.htm.
4. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Sushko E.D., Ageeva A.F. Iskusstvennoe obschestvo i real'nye demograficheskie protsessy // Ehkonomika i matematicheskie metody. 2017. № 1 (53). S. 3-18.
5. Rejting kachestva zhizni v regionakh RF // Rejtingovoe agentstvo «RIA Rejting»: ofitsial'nyj sajt. URL: <https://ria.ru/20190218/1550940417.html>
6. Ukaz Prezidenta RF ot 09.10.2007 № 1351 (red. ot 01.07.2014) «Ob utverzhdenii Kontseptsii demograficheskoy politiki Rossijskoj Federatsii na period do 2025 goda» // Sobranie zakonodatel'stva RF. 2007. № 42. St. 5009, 2014. № 27. St. 3754.
7. Eric Silverman, Jakub Bijak, Jason Hilton, Viet Dung Cao, Jason Noble. When Demography Met Social Simulation. A Tale of Two Modelling Approaches. // Journal Artificial Societies and Social Simulation 2013. 16(4)
8. Mazhar Sajjad & Karandeep Singh & Euihyun Paik & Chang-Won Ahn. A Data-Driven Approach for Agent-Based Modeling: Simulating the Dynamics of Family Formation // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2016. 19(1). Pp. 1-9.
9. Silveira JJ, Espíndola AL, Penna TJP. Agentno-orientirovannaya model' analiza sel'skoj i gorodskoj migratsii // Fizika A. Statisticheskaya mekhanika i ee prilozheniya. 2006. 364. Pp. 445-456. doi: 10.1016/j.physa.2005.08.055.

Концептуальные и методические аспекты разработки агент-ориентированной модели демографических процессов на региональном уровне (на примере Республики Башкортостан)

Атнабаева А. Р.

*Институт социально-экономических исследований - обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук
Российская Федерация, Уфа*

Низамутдинов М. М.

*Институт социально-экономических исследований - обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук
Российская Федерация, Уфа*

Аннотация

В реалиях современного общества - политических конфликтов и социальной напряженности - главной целью демографической политики Российской Федерации является стабилизация численности населения и создание условий для его роста. Управленческие решения, принимаемые для регулирования данных показателей, принимаются на региональном уровне. В связи с этим анализ взаимосвязей поведения человека и изменения социально-экономической политики, а также возможность сценарного прогнозирования численности населения на региональном уровне является актуальной задачей. Решена задача с применением агент-ориентированной модели демографических процессов. На основе регрессионного и корреляционного анализа выявлены зависимости в поведении человека с изменением величины социально-экономических показателей региона. Разработана диаграмма классов агент-ориентированной модели демографических процессов на региональном уровне с выделением ключевых экономических агентов, влияющих на численность населения.

Ключевые слова: концептуальная модель, агент-ориентированная модель, демографические процессы, регион

Дата публикации: 19.12.2019

Ссылка для цитирования:

Атнабаева А. Р. , Низамутдинов М. М. Концептуальные и методические аспекты разработки агент-ориентированной модели демографических процессов на региональном уровне (на примере Республики Башкортостан) // Искусственные общества. 2019. Т. 14. Выпуск 4 [Электронный ресурс]. Доступ для зарегистрированных пользователей. URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800007514-4-1/> (дата обращения: 28.09.2020). DOI: 10.18254/S207751800007514-4

