

**ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ДИНАМИКИ НАСЕЛЕНИЯ РЕГИОНОВ РОССИИ
МЕТОДОМ АГЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

В статье рассматриваются алгоритмы воспроизведения демографических процессов в рамках агент-ориентированной модели пространственного развития России. Описывается структура входных данных моделирования и информационного обеспечения модуля «Демография». Приводятся алгоритмы событийных секций «Рождение», «Взросление», «Смерть», «Вступление в брак» и «Развод», определяющие численность населения и состав домашних хозяйств. Представлены результаты верификации алгоритмов.

Ключевые слова: агент-ориентированная модель; пространственное развитие; демографические процессы; алгоритм; оценка адекватности модели.

Прогнозирование социально-экономического и пространственного развития страны является ключевым этапом при формировании государственной экономической и региональной политики. Сложность социально-экономических процессов обуславливает необходимость учета множества факторов, таких как региональные производственные мощности, межотраслевые хозяйственные взаимосвязи, кадровый потенциал и уровень жизни в регионах. Агентное моделирование является инструментом, представляющим возможность исследования динамики сложной системы как результата решений и взаимодействий агентов микроуровня, что соответствует специфике социальных и экономических процессов. Разрабатываемая модель пространственного развития России отражает половозрастную структуру, состав домохозяйств и расселение жителей России по регионам, инфраструктуру, производственные мощности, образовательные и административные институты. Действующими субъектами в модели являются агенты, домохозяйства, организации и органы административного управления [3]. Демографические и производственные процессы в модели рассматриваются с учетом пространственного размещения, хозяйственных и личных взаимосвязей.

Модель пространственного развития России реализуется в виде компьютерной программы, на вход которой подаются массивы исходных данных, а вывод результатов осуществляется в виде статистических таблиц, карт и графиков. Модель имеет модульную структуру (рис. 1).

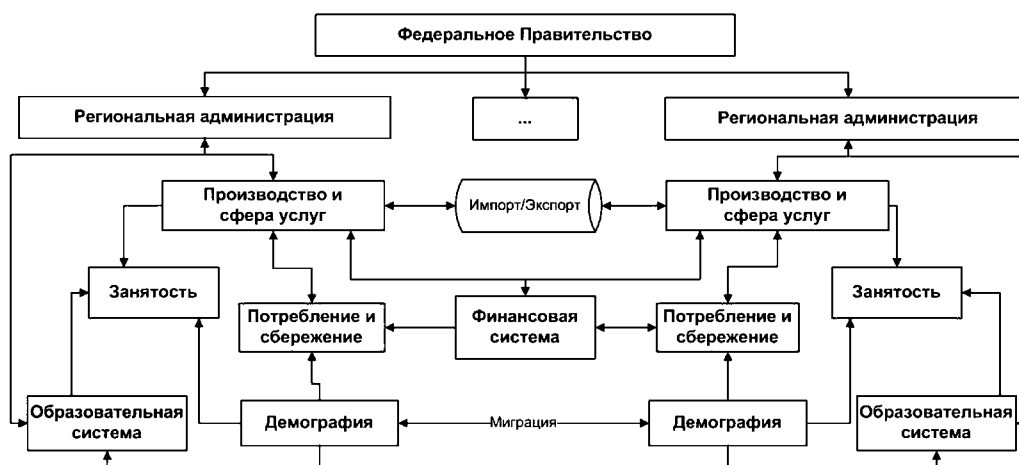


Рисунок 1 – Модульная структура модели пространственного развития России

Для каждого региона задается половозрастная структура населения, состав домохозяйств, динамика рождаемости и смертности. В каждом регионе также сформированы образовательные институты, рынок труда, производство и сфера услуг, представленные коммерческими организациями. Функции административного управления разделяются между федеральными и региональными органами власти и реализуются через бюджетные организации. Финансовая система является централизованной, она представлена Центральным банком и региональными коммерческими банками [2].

Каждому модулю соответствует набор информационных объектов и событий, изменяющих их состояние. Действующими субъектами в модели являются агенты, домашние хозяйства, юридические лица и государство. Действующие субъекты способны принимать решения и изменять свое поведение, выступать в разных ролях и иметь взаимосвязи с объектами различных модулей. В модуле «Демография» отражаются процессы взросления агентов в соответствии с течением модельного времени, рождение и смерть агентов. В модуле «Демография» главными действующими субъектами являются агенты. События, изменяющие их состояние, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Действующие субъекты в модуле «Демография»

Модуль	Действующие субъекты	Роли	События
Демография	Агент	биологический индивид	Взросление агентов
			Рождение агентов
			Смерть агентов
	Домохозяйство	социальная группа	Вступление в брак
			Развод

В рамках модели в модуле «Демография» воспроизводится статическая структура населения России на базовый год моделирования, после чего моделируются процессы рождаемости и смертности, браков и разводов в прогнозном периоде. Воссоздание искусственного общества начинается с генерации первоначального поколения агентов, создания домашних хозяйств, формирования семей и их распределения по домашним хозяйствам. Сгенерированная среда сохраняется в базе данных для последующего использования в серии сценарных расчетов [4].

Агент как действующий субъект модели получает свои стартовые данные, к которым относится информация об идентификационном номере, поле, возрасте, семейном положении, наличии детей, номере и типе домохозяйства. В дальнейшем при проведении сценарных расчетов агент участвует в событиях, приведенных в таблице 1. В модели рассматривается три типа домашних хозяйств, в соответствии с их классификацией в статистических данных: частные, коллективные (детские дома, школы-интернаты, казармы, места лишения свободы, монастыри и т.п.) и домохозяйства бездомных. Домохозяйство в модели имеет свой индивидуальный номер, а также информацию о том, какому агенту оно принадлежит. Домохозяйство как действующий субъект также участвует (табл. 1). В каждом регионе в модели создается одно коллективное и одно бездомное домашнее хозяйство, за которым закрепляется заданное число агентов. Остальные агенты распределяются по частным домохозяйствам [4].

Исходные данные представлены в виде таблиц, экспортируемых из файлов Excel в модель через интерфейс ввода исходных данных. В таблицах содержится информация о демографической структуре населения. Информационное наполнение таблиц для генерации первоначального поколения агентов осуществляется на основе данных Всероссийской переписи населения 2010 года [1], в которой представлены наиболее точные данные, не только по численности населения, но и по составу домохозяйств. Данные о динамике

населения отражены в сборниках Росстата [5]. В модели используются следующие показатели:

- численность населения регионов;
- смертность агентов на 1000 человек населения в регионе;
- структура смертности по возрастным группам;
- рождаемость в регионе;
- процент детей, от которых отказались родители;
- процент детей мужского пола среди новорожденных;
- процент детей, родившихся в неполной семье;
- распределение по возрастным группам женщин родивших первого, второго и третьего ребенка;
- количество браков на 1000 человек населения (по регионам);
- возрастная структура вступивших в брак;
- количество разводов на 1000 человек населения (по регионам);

Все данные об информационных объектах модели сохраняются в базе данных. Информационное обеспечение демографического модуля представлено в виде реляционной схемы (рис. 2), на которой представлена информация об основных действующих в субъектах и информационных объектах модели, связи между таблицами осуществляются с помощью внешних ключей.

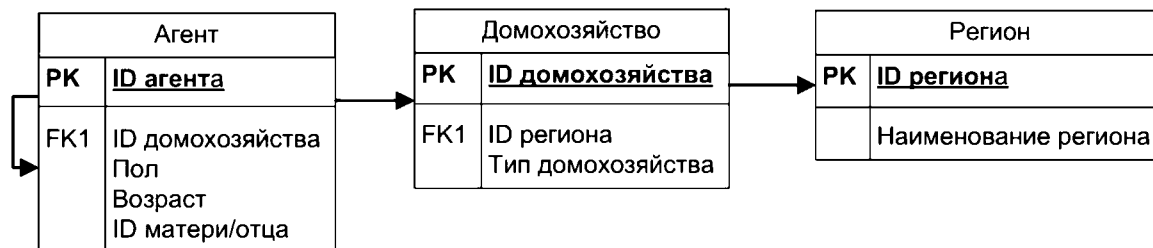


Рисунок 2 – Схема базы данных для модуля «Демография»

Разработанные алгоритмы отражают протекание демографических процессов в пространственном разрезе: рождение, взросление и смерть агентов, вступление агентов в брак и развод агентов.

При наступлении события «Взросление агента» агентам, проживающим во всех регионах, увеличивается поле «возраст» на единицу. В событии «Смерть агента» для каждого региона число умерших рассчитывается по формуле:

$$Pd = \frac{Pr * k}{1000},$$

где Pd – число умерших в регионе; Pr – население в регионе; k – количество умерших на 1000 человек населения в регионе.

Далее определяется количество умерших агентов в каждой половозрастной группе согласно таблице смертности и осуществляется удаление агентов нужного возраста и пола из базы данных модели. Для поддержания корректной работы демографического модуля проверяются следующие условия:

1. Если агент проживал один в частном домашнем хозяйстве, удаляется также и домашнее хозяйство из списка домохозяйств.

2. Если агент проживает в частном домохозяйстве и при этом он не состоит в отношениях и не проживает с другими взрослыми родственниками, но проживает с детьми, в этом случае агент удаляется из списка, ребенок помещается в коллективное домохозяйство, а соответствующее частное домохозяйство удаляется из списка.

3. Если агент не состоит в отношениях и проживает с взрослыми родственниками от 18 до 70 лет и ребенком до 18 лет, в этом случае опекуном ребенка становится его взрослый родственник. Если же родственник является единственным, и он старше 70 лет, ребенок помещается в коллективное домохозяйство.

4. Если агент проживает в частном домохозяйстве и при этом состоит в отношениях, у супруга меняется поле семейное положение «вдовец» («вдова»).

В событии «Рождение агента» число родившихся агентов в год рассчитывается по формуле:

$$Pb = \frac{Pr * k}{1000},$$

где Pb – число родившихся в регионе; Pr – население в регионе; k – количество родившихся на 1000 человек населения в регионе.

Согласно статистике по Российской Федерации, среди родившихся 51% агентов мужского пола и 49% агентов женского пола [5]. Из общего числа родившихся необходимо выделить детей, от которых отказались родители (дети сироты), и определить их в коллективное домохозяйство. Такие агенты, согласно статистическим данным, составляют 0,2% от общего числа родившихся в регионе. Оставшиеся рожденные делятся на три группы в зависимости от порядка появления в семье: первые, вторые и третьи. В каждой из этих групп необходимо выделить детей, рожденных вне брака (25%) [5]. Далее для детей, рожденных первыми вне брака, согласно таблице, осуществляется поиск женщины нужного возраста, проживающей в частном домохозяйстве и у ребенка устанавливается идентификатор матери и ее домохозяйства матери. Для детей, рожденных первыми в полной семье, осуществляется поиск женщины нужного возраста, проживающей в частном домохозяйстве и устанавливается связь ребенка с домохозяйством матери. Аналогичный алгоритм применяется для детей, рожденных вторыми и третьими в полных и неполных семьях.

В событии «Вступление в брак» количество зарегистрированных браков рассчитывается по формуле:

$$Pm = \frac{Pr * k}{1000},$$

где Pm – зарегистрированных браков в регионе; Pr – население в регионе; k – количество зарегистрированных браков на 1000 человек населения в регионе.

Согласно таблице официальных браков по возрастным группам вычисляется количество мужчин и женщин, состоящих в браке, в каждой возрастной группе. Далее осуществляется поиск агента мужского пола старше 16 лет из первой возрастной группы, который проживает в коллективном (до 18 лет) или частном домохозяйстве и не состоит в браке. Затем осуществляется поиск агента женского пола старше 16 лет из первой возрастной группы, которая не состоит в браке и определяется её домохозяйство. После того, как агенты найдены, изменяется их семейное положение на «замужем (женат)» и устанавливается идентификатор супруга. При создании пары также учитываются следующие условия:

1. Если агент мужского пола имеет свое домохозяйство, в этом случае агенту женского пола присваиваем идентификатор домохозяйства мужа. Если в домохозяйстве женщины не проживают другие агенты, оно удаляется из списка домохозяйств.

2. Если агент мужского пола проживал в домохозяйстве родителей или коллективном домохозяйстве, то для пары создается новое домохозяйство

3. Если у агента женского пола были дети до 18 лет, то у них изменяется поле идентификатор домохозяйства на номер домохозяйства ее супруга.

4. Если агент мужского пола имел статус «незарегистрированный брак», то осуществляется поиск его пары и смена статуса в поле «семейное положение».

Когда количество агентов мужского пола первой возрастной группы становится равным нулю, осуществляется выборка агентов из следующей возрастной группы, аналогично и для агентов женского пола. Аналогичный алгоритм используется для создания незарегистрированных пар в модели.

В событии «Развод» для расчета количества разводов в год применяется формула:

$$Pdiv = \frac{Pr * k}{1000},$$

где $Pdiv$ – число разводов в регионе; Pr – население в регионе; k – количество разводов на 1000 человек населения в регионе.

После определения общего количества разводов, вычисляется количество разводов в каждой возрастной группе в соответствии с процентом, указанным в статистической таблице. Согласно найденному количеству агентов, в каждой возрастной группе выполняется поиск женатого мужчины и соответствующей ему пары, и у супругов в поле «семейное положение» устанавливается статус «в разводе». Если в семье были дети моложе 18 лет, они остаются с матерью. В текущем домохозяйстве остается проживать женщина с детьми или без них, для мужчины создается новое домохозяйство (рис. 3).

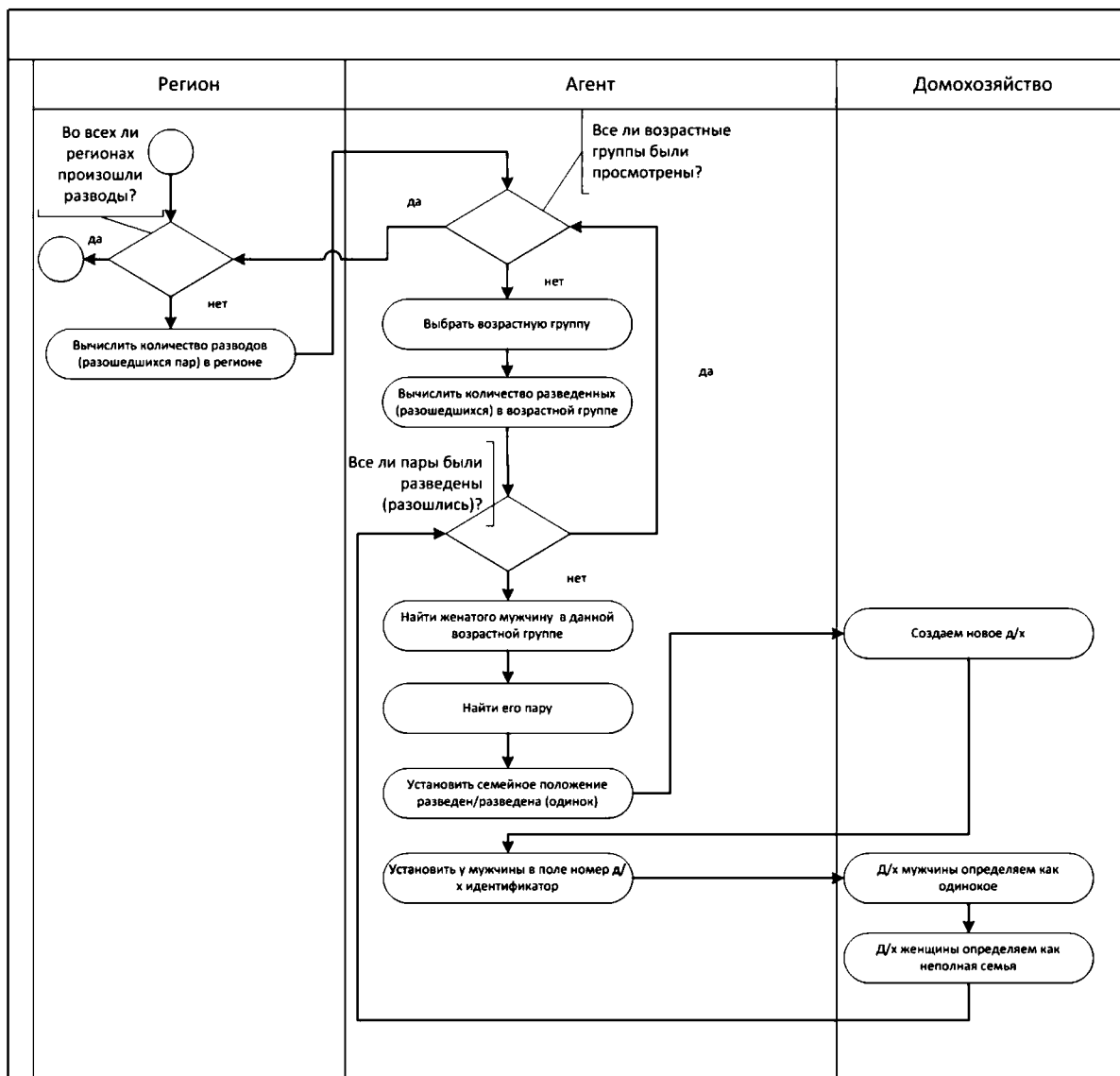


Рисунок 3– Алгоритм событийной секции «Развод»

Для оценки адекватности работы модуля «Демография» было выполнено сравнение реальных и модельных данных о количестве агентов по возрастным группам. Продолжительность моделирования составила 7 лет, за начало моделирования был принят 2010 год, поскольку это год последней переписи населения России, наиболее полно отражающей информацию о составе и структуре населения регионов. Последний период моделирования соответствовал 2017 году.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	
	от 0 до 4	от 5 до 9	от 10 до 14	от 15 до 19	от 20 до 24	от 25 до 29	от 30 до 34	от 35 до 39	от 40 до 44	от 45 до 49	от 50 до 54	от 55 до 59	от 60 до 64	от 65 до 69	70 и более	
1																
2	данные за 2010 год	5,6	5	4,6	5,9	8,5	8,4	7,7	7,1	6,5	7,5	8	7	5,5	2,8	9,9
3	данные за 2017 год	6,5	5,8	5	4,5	5,3	8,1	8,5	7,6	7,1	6,3	6,7	7,6	6,5	5,2	9,3
4	эксперимент 1	5,6	5	4,6	5,8	8,4	8,4	7,6	7,1	6,5	7,4	7,9	7,1	5,4	3	9,8
5	эксперимент 2	5,1	5	4,6	5,6	7,5	8,4	7,5	7,3	6,7	7,2	7,7	7,1	5,4	3	9,6
6	эксперимент 3	5,3	5,1	4,7	5,6	7,6	8,2	7,5	7,3	7	6	7,7	7,5	5,4	3,7	9,6
7	эксперимент 4	6	5,6	4,6	5	6,4	8,3	8	7,7	6,9	6,6	8,4	7,9	6	4,1	10
8	эксперимент 5	5,9	5,2	4,8	5,5	6	8,1	7,9	7,3	6,9	6,8	7,4	7,5	6,1	4,6	9,4
9	эксперимент 6	6	5,6	4,8	4,7	5,6	8,1	8,2	7,2	7	7,9	6,9	8	6,7	5	9,4
10	эксперимент 7	6,5	5,6	4,6	4,4	5,4	8,1	8,1	7,8	6,8	6,3	6,8	7,3	6,2	5,1	9,5
11	среднее	6,057	5,300	4,671	5,229	6,700	8,229	7,829	7,386	6,829	6,886	7,543	7,486	5,886	4,071	9,514
12	отклонение	0,068	0,085	0,066	0,162	0,264	0,016	0,079	0,028	0,038	0,093	0,126	0,015	0,095	0,217	0,034

Рисунок 4 – Результаты проверки адекватности модели

Данные за каждый год сохранялись в базе данных модели. Проверка адекватности модели была выполнена на основе средней ошибки аппроксимации. По каждой возрастной группе по результатам десяти экспериментов было определено среднее значение моделируемых демографических показателей; оценка адекватности проводилась по каждой возрастной группе. Результаты проверки экспортировались в Excel (рис. 4). Средняя ошибка аппроксимации рассчитывалась по следующей формуле:

$$\frac{|R - S|}{R} < 5\%,$$

где R – реальные данные на 2017 год по возрастной группе; S – среднее значение по каждой возрастной группе по результатам моделирования.

Результаты показали, что отклонение составляет менее 1% по каждой возрастной группе. Это свидетельствует о высокой точности модели.

Модуль «Демография» позволяет воспроизводить динамику населения регионов в виде искусственного общества, что обеспечивает возможность его использования в качестве основы модели пространственного развития России. Агенты являются действующими субъектами различных модулей, выступая в качестве школьников и студентов (модуль «Образование»), рабочей силы (модули «Трудоустройство» и «Производство»), покупателей (модуль «Потребление»), вкладчиков и заемщиков (модуль «Финансовая система»). Население регионов, помимо естественных демографических процессов, может изменяться также в результате миграционных процессов, которые обусловлены рядом социальных, экономических и экологических факторов, которые найдут отражение в дальнейших исследованиях.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-03049.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Всероссийская перепись населения 2010 (официальный сайт) [Электронный ресурс]. – URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/perepis_itogi1612.htm (дата обращения: 22.06.2018).
2. Маматов А.В., Банчук Ю.А., Машкова А.Л. Информационное наполнение агентной модели пространственного развития России на основе данных региональных и федеральных информационных систем / Материалы VII Международной научно-

технической конференции «Информационные технологии в науке, образовании и производстве» (ИТНОП-2018) [Электронный ресурс]. – URL: <http://myconfs.ru/itnop2018/materials/manager/view/1333>.

3. Машкова А.Л. Прогнозирование долгосрочного развития макроэкономических систем на базе агент-ориентированных моделей. Государственное управление. – Электронный вестник, 2016. – № 57. – С. 49-68.
4. Новикова Е.В., Машкова А.Л. Создание первоначального поколения агентов в компьютерной модели отраслевого развития экономики России / Материалы VII Международной научно-технической конференции «Информационные технологии в науке, образовании и производстве» (ИТНОП-2018) [Электронный ресурс]. – URL: <http://myconfs.ru/itnop2018/materials/manager/view/1245>.
5. Федеральная служба государственной статистики (официальный сайт) [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 26.06.2018).

Маматов Александр Васильевич

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»,
г. Белгород
Кандидат технических наук, профессор, проректор по учебной работе и информатизации
Тел.: 8 910 321 12 -95
E-mail: mamatovav@bsu.edu.ru

Машкова Александра Леонидовна

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем
ФГБУН «Центральный экономико-математический институт Российской Академии Наук» г. Москва
Старший научный сотрудник
Тел.: 8 920 285 67 45
E-mail: aleks.savina@gmail.com

Новикова Екатерина Вячеславовна

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
Аспирант кафедры информационных систем
Тел.: 8 919 263 02 77
E-mail: esty92@ya.ru

Савина Ольга Александровна

ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», г. Орел
Доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры информационных систем
Тел.: 8 920 286 84 49
E-mail: o.a.savina@gmail.com

A. V. MAMATOV (*Candidate of Engineering Sciences, Professor,
Provost on Educational Work and Informatization*)
Belgorod State National Research University, Belgorod

A. L. MASHKOVA (*Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
of Department of Information Systems*)
Orel State University named after I. S. Turgenev, Orel
(*Senior Researcher*)
Central Economics and Mathematics Institute RAS, Moscow

E. V. NOVIKOVA (*Post-graduate Student of Department of Information Systems*)

O. A. SAVINA (*Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor of Department of Information Systems*)
Orel State University named after I. S. Turgenev, Orel

**REPRODUCTION OF DYNAMICS OF POPULATION OF RUSSIAN REGIONS
USING AGENT MODELING**

In the paper we consider algorithms for the reproduction of demographic processes in the agent-based model of spatial development of Russia. The structure of the input data for modeling and information support of the module «Demography» is described. Algorithms of event sections «Birth», «Growth», «Death», «Marriage» and «Divorce» are defined, which determine population size and composition of households. Results of verification of algorithms are presented.

Keywords: *agent-based model; spatial development; demographic processes; algorithm, adequacy of the model.*

BIBLIOGRAPHY (TRANSLITERATED)

1. Vserossijskaya perepis' naseleniya 2010 (oficial'nyj sajt) [EHlektronnyj resurs]. – URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/perepis_itogi1612.htm (data obrashcheniya: 22.06.2018).
2. Mamatov A.V., Banchuk YU.A., Mashkova A.L. Informacionnoe napolnenie agentnoj modeli prostranstvennogo razvitiya Rossii na osnove dannyh regional'nyh i federal'nyh informacionnyh sistem / Materialy VII Mezhdunarodnoj nauchno-tekhneskoj konferencii «Informacionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i proizvodstve» (ITNOP-2018) [EHlektronnyj resurs]. – URL: <http://myconfs.ru/itnop2018/materials/manager/view/1333>.
3. Mashkova A.L. Prognozirovanie dolgosrochnogo razvitiya makroehkonomicheskix sistem na baze agent-orientirovannyh modelej. Gosudarstvennoe upravlenie. – EHlektronnyj vestnik, 2016. – № 57. – S. 49-68.
4. Novikova E.V., Mashkova A.L. Sozdanie pervonachal'nogo pokoleniya agentov v komp'yuternoj modeli otraslevogo razvitiya ehkonomiki Rossii / Materialy VII Mezhdunarodnoj nauchno-tekhneskoj konferencii «Informacionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i proizvodstve» (ITNOP-2018) [EHlektronnyj resurs]. – URL: <http://myconfs.ru/itnop2018/materials/manager/view/1245>.
5. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki (oficial'nyj sajt) [EHlektronnyj resurs]. – URL: <http://www.gks.ru/>(data obrashcheniya: 26.06.2018).