



Искусственные общества. 2013-2026

ISSN 2077-5180

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

Все права защищены

Выпуск 2 Том 16. 2021

Демографическая агент-ориентированная модель России и оценка ее применимости для решения практических управленческих задач

Бахтизин Альберт Рауфович

*Центральный экономико-математический институт Российской академии наук
Российская Федерация, Москва*

Макаров Валерий Леонидович

*Центральный экономико-математический институт Российской академии наук
Российская Федерация, Москва*

Сушко Елена Давидовна

*Центральный экономико-математический институт Российской академии наук
Российская Федерация, Москва*

Максаков Алексей Александрович

*Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана
Российская Федерация, Москва*

Аннотация

В статье представлена разработанная агент-ориентированная модель России, предназначенная для имитации процессов воспроизводства населения и влияния на эти процессы мер поддержки семей с детьми. Показаны результаты апробации данной демографической модели в ходе компьютерных экспериментов по прогнозированию основных демографических показателей по России в целом и в разрезе регионов. Исследованы свойства самой модели, а также правдоподобность имитации в ней основных демографических процессов путем сопоставления результатов моделирования с реальными статистическими данными на длительном ретроспективном периоде. Получены прогнозы демографических показателей до 2030 года. Оценен эффект от реализации программы материнского капитала. Сформулированы преимущества агент-ориентированного подхода к моделированию демографических процессов. Обозначены перспективные направления развития представленной модели.

Ключевые слова: демографический прогноз, демографический прогноз для России, региональный демографический прогноз, агент-ориентированное моделирование, имитация демографических процессов, суперкомпьютерные технологии, апробация управленческих воздействий

Дата публикации: 12.06.2021

Источник финансирования:

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема «Разработка экономико-математического инструментария для повышения эффективности бюджетной системы в Российской Федерации», № FMGF-2019-0007, № ЕГИСУ НИОКТР 121052700128-3).

Ссылка для цитирования:

Бахтизин А. Р., Макаров В. Л., Сушко Е. Д., Максаков А. А. Демографическая агент-ориентированная модель России и оценка ее применимости для решения практических управленческих задач // Искусственные общества. 2021. Т. 16. Выпуск 2.
URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800015357-1-1/> DOI: 10.18254/S207751800015357-1

1

Введение

В современном мире вообще и в России в частности происходят серьезные демографические изменения, вызванные так называемым демографическим переходом – переходом от традиционного типа воспроизводства населения с высокими уровнями показателей смертности и рождаемости к современному типу с низкими уровнями этих показателей. Особенности демографического перехода подробно рассматривались в работах многих известных демографов, здесь достаточно сослаться на известную работу А.Г. Вишневого [2]. В связи с развитием возможностей медицины и повышением уровня жизни наблюдается существенное снижение показателей смертности и увеличение продолжительности жизни людей. Однако наблюдаются и негативные тенденции. Так, в современном обществе суммарный коэффициент рождаемости (СКР) – среднее число детей, рождаемых женщиной в течение репродуктивного возраста – снижается зачастую до уровня, не обеспечивающего простое воспроизводство населения (менее 2,1). И эти тенденции, как следует из данных ООН [16], характерны для очень

разных в экономическом и ментальном смысле стран (рисунок 1). В итоге, во многих странах наблюдаются такие негативные явления как снижение общей численности населения (депопуляция), а также кардинальные изменения в его возрастной структуре – так называемое старение (увеличение доли старших возрастных когорт).

2

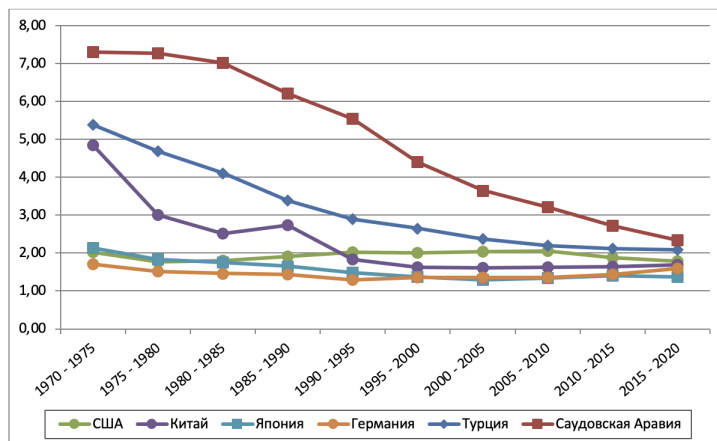


Рис. 1. Сравнение динамики суммарного коэффициента рождаемости в отдельных странах мира

3 Аналогичные тенденции наблюдаются и в нашей стране (рисунок 2) (по данным Росстата [3]).

4



Рис. 2. Анализ динамики суммарного коэффициента рождаемости в России

5 Такая динамика СКР в нашей стране вполне объясняется снижением желаемого числа детей в семье, о котором, в том числе, свидетельствуют данные недавнего уникального межрегионального исследования демографического поведения населения, основанного на социологическом мониторинге «Демографическое самочувствие России» [11]. На рисунке 3 показаны усредненные по десяти регионам, в которых проводилось обследование, распределения желаемого (в идеальных условиях) и планируемого при существующих обстоятельствах числа детей в семье.

6

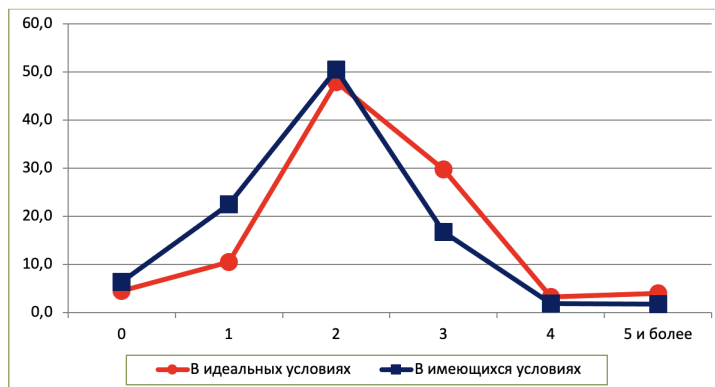


Рис. 3. Распределение желаемого числа детей в семье, %

7 Закономерным представляется то, что подобные тенденции воспринимаются властями как вызов, требующий принятия взвешенных мер, направленных, в том числе, на стимулирование рождаемости. Так, в качестве одной из приоритетных национальных целей, для достижения которой в нашей стране реализуется Национальный проект «Демография», заявлено «Обеспечение устойчивого роста численности населения Российской Федерации» [7]. Проектом предусмотрен целый спектр мер, направленных на поддержку семей с детьми, что должно повлиять на репродуктивное поведение людей.

⁸ Демографические процессы достаточно инерционные, и результаты реализуемых мер будут сказываться не только в среднесрочной, но и в долгосрочной перспективе. Поэтому очень важна обоснованная предварительная оценка результатов планируемых мер, тем более что цена подобных решений во всех смыслах очень высока. Метод, используемый для прогнозирования демографических процессов, представляет собой комбинацию метода передвижки возрастов с компонентным методом [1]. А именно: отдельно прогнозируются темпы изменения таких компонентов воспроизводства населения как рождаемость, смертность и миграция, а результаты включаются в процедуру перспективного исчисления численности населения методом передвижки. Обычно осуществляется расчет трех вариантов прогноза (низкий, средний и высокий) на основе различных гипотез относительно будущих тенденций изменения указанных компонент. Таким образом, метод позволяет учитывать мнение экспертов о наиболее вероятных сценариях развития основных демографических процессов.

⁹ Однако этот метод не позволяет выделить влияние отдельных экономических, социальных, экологических и других факторов, результирующая которых и будет определять тенденции рождаемости, смертности и миграции. А ведь управленческие меры как раз и бывают направлены на изменение каких-то конкретных факторов. То есть, при разработке комплексных перспективных проектов, к которым относится и проект «Демография», желательно иметь инструмент, позволяющий количественно оценивать последствия различных комбинаций планируемых мер, а также выбора сроков их реализации.

¹⁰ Характерной чертой таких процессов как, например, рождаемость и миграция является то, что они формируются снизу вверх, поскольку решения принимаются на индивидуальном уровне, а общие показатели складываются в результате агрегирования действий отдельных людей. В последнее время для социального моделирования все шире применяется подход, основанный именно на имитации поведения отдельных индивидуумов-агентов. Агент-ориентированные модели (АОМ) представляют собой искусственное общество, включающее множество самостоятельных агентов, способных действовать в соответствии со своими интересами и личностными особенностями [4, 8]. И демографические АОМ – это одно из наиболее массовых приложений агент-ориентированного подхода (например, [14, 15]).

¹¹ Целью наших разработок было создание инструмента прогнозирования динамики основных демографических показателей населения России в целом и в разрезе регионов, а также предварительной оценки влияния на эти показатели мер поддержки семей с детьми на основе правдоподобной имитации выбора отдельными людьми репродуктивных стратегий.

¹² Анализируя ретроспективный период, можно предположить, что такое влияние было, на что, например, обращает внимание экономист Е.И. Яковлев [12]. Так, об этом свидетельствует анализ динамики суммарного коэффициента рождаемости (рисунок 2) с заметными всплесками в 2007 году, когда стартовала программа федерального материнского капитала (рост СКР на 10%), и в 2012 году, когда стали активно вводиться региональные программы поддержки семей с детьми (рост на 5%)

¹³

1. Демографическая агент-ориентированная модель России

В статье [13] представлена разработанная в ЦЭМИ РАН технология распараллеливания работы агент-ориентированных моделей (АОМ). В статье оценивалась эффективность распараллеливания работы простой АОМ России, в которой агенты-люди распределялись по регионам пропорционально численности их населения, а затем на основе графовой декомпозиции – по выделенным вычислительным ядрам суперкомпьютера. Агенты на каждом шаге имитации обменивались сообщениями со случайно выбранными контрагентами. На основе представленной в статье [13] технологии была разработана система проектирования масштабируемых агент-ориентированных моделей МЭБИУС [7]. Система позволяет разрабатывать АОМ, включающие популяции агентов разных типов, образующих социальные сети, с численностью до 1 млрд. агентов. Причем, численность агентов динамически изменяется в процессе имитации, а сами агенты способны к сложным многоэтапным взаимодействиям друг с другом. Именно в этой системе была разработана демографическая АОМ России [5]. Агенты в модели взрослеют, поддерживают родственные связи, заводят детей (создают других агентов), умирают. Для поддержания такого функционала на каждом шаге имитации действия агентов делятся на последовательные этапы (стадии), требующие создания новых точек синхронизации. Демографическая АОМ России позволяет в ходе экспериментов получать прогноз основных демографических показателей для России в целом и в разрезе регионов для разных сценариев развития экономической ситуации и при введении различных управляющих воздействий. Общая схема работы модели представлена на рисунке 4.

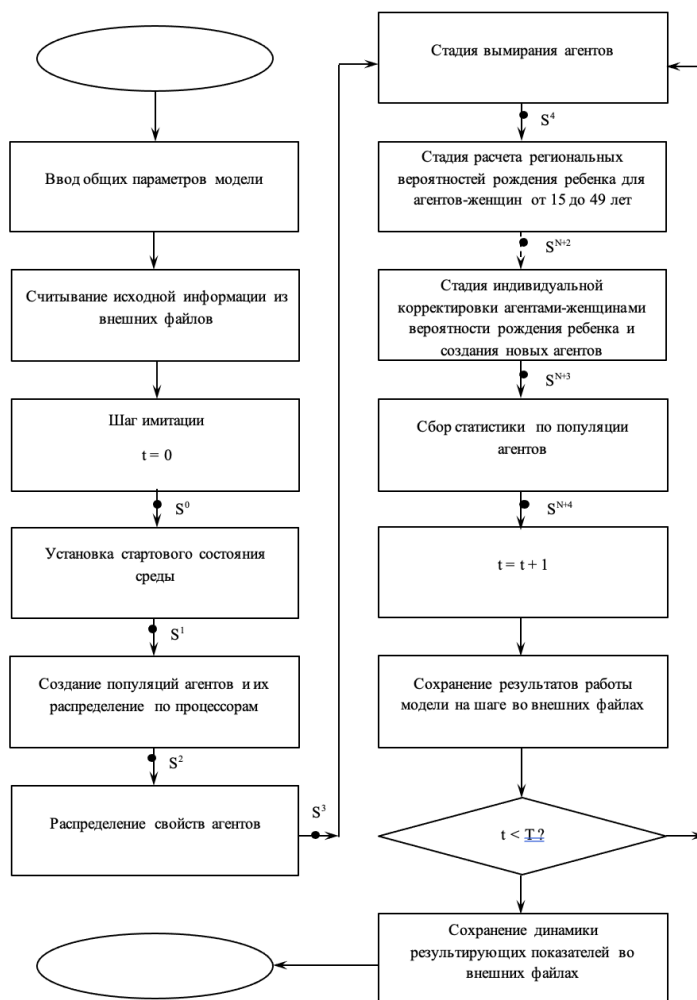


Рис. 4. Общая схема работы демографической АОМ России.

В данной статье мы проведем анализ применимости указанной агент-ориентированной демографической модели России [5] в системе государственного управления демографическими процессами, возможности распространять выводы, полученные в результате компьютерных экспериментов, на существующую в действительности социальную систему. Модель была модифицирована таким образом, чтобы имитировать реакцию агентов на введение государственной поддержки в виде материнского капитала [10].

Исходные данные модели:

- по России в целом: а) возрастно-половая пирамида; б) повозрастные коэффициенты смертности и индексы их изменения (среднегеометрические за период 2002-2006 годы); в) суммы материнского капитала по годам программы;
- данные по регионам: а) численность населения на 1 января; б) доли основных возрастных групп; в) суммарный коэффициент рождаемости; г) индекс изменения суммарного коэффициента рождаемости (среднегеометрический за период 2002-2006 годы) д) распределение рождений по возрасту матери (одинаковое для всех регионов); е) распределение желаемого числа детей (одинаковое для всех регионов);
- для каждого региона по годам с 2002 по 2020: стоимость 1 кв. метра жилья.

Выходные данные модели:

- по России в целом: а) возрастно-половая пирамида для каждого года имитации; б) для каждого года: численность населения на 1 января; доли основных возрастных групп (с учетом пенсионной реформы); общий коэффициент рождаемости; общий коэффициент смертности; суммарный коэффициент рождаемости; число рожденных; число умерших; средний возраст агентов.
- данные по регионам для каждого года имитации: а) численность населения на 1 января; б) доли основных возрастных групп; в) суммарный коэффициент рождаемости; г) число рожденных; д) число умерших.

Первая задача – это установка максимально приближенного к жизни начального состояния популяции агентов-людей, на которой воспроизводится возрастно-половая структура населения с учетом его расселения по регионам страны. Процессы, имитируемые на каждом шаге работы модели, (соответствующем одному году):

1. Естественное движение населения России в целом и в разрезе регионов:

Смертность. Имитируется следующим образом: в базовом году в качестве вероятности умереть для каждого агента используются заданные в исходных данных дифференцированные по полу и возрасту коэффициенты смертности. Затем на

каждом шаге эти вероятности умножаются на индексы их изменения, в качестве которых используются их средние значения за какой-то период. Период применения средних индексов можно ограничить, после чего индексы считаются равными единице.

²³ *Рождаемость.* Имитируется на основе использования региональных значений текущего суммарного коэффициента рождаемости, дифференцированной по возрасту матери вероятности рождения ребенка и с учетом желаемого ею числа детей. Так же, как и для коэффициентов смертности, на каждом последующем шаге используются индексы изменения региональных коэффициентов рождаемости.

²⁴ 2. Образование родственных связей между матерью и ее детьми. Имитируется следующим образом: каждому агенту подбирается агент-мать с такой разницей в возрасте, которая определяется из заданного статистического распределения рождений по возрасту матери.

²⁵ 3. Влияние мер поддержки на желание женщины родить ребенка. Имитируется как изменение соответствующей возрасту агента-женщины региональной вероятности рождения ребенка с учетом ее личностных характеристик, позволяющих ей попасть в категорию получателей поддержки, а также в зависимости от значимости для нее суммы этой поддержки. Значимость является функцией от суммы материнского капитала в стоимости 1 кв. м жилья в ее регионе.

²⁶ Применимость модели оценивалась в ходе компьютерного эксперимента с точки зрения правдоподобия имитации ею реальных процессов естественного движения населения России.

²⁷ В ходе эксперимента оценивался эффект реализации мер, предусмотренных Федеральным законом «О дополнительных мерах государственной поддержки семей, имеющих детей» от 29.12.2006 N 256-ФЗ, который вступил в силу с 1 января 2007 года [10]. Была проведена оценка влияния мер поддержки семей на демографическую ситуацию в стране в целом и в разрезе регионов по схеме «с проектом и без проекта». Для чего проводились симуляции, начиная с 2002 года по 2030 год по следующим сценариям:

- ²⁸ 1. Сценарий 0 (базовый) – без введения предусмотренных законом N 256-ФЗ мер поддержки.
2. Сценарий 1 – с учетом фактически принятых мер поддержки.

²⁹ Предварительная верификация и калибровка модели производилась в ходе экспериментов на ретроспективных периодах – для базового сценария на периоде с 2002 по 2006 годы, а для Сценария 1 – на периоде с 2007 по настоящее время. Эффект от введения мер поддержки оценивался как разница между полученными результирующими показателями для Сценария 1 и результатами базового сценария.

³⁰ Условия эксперимента:

- ³¹ • 12 млн. агентов;
- стартовые условия 2002 года;
- тенденции изменения повозрастных коэффициентов смертности, наблюдавшиеся на статистических данных по России в целом, продолжены на весь период симуляции;
- тенденция изменения суммарного коэффициента рождаемости (СКР) продолжена до 2012 года, далее индекс изменения СКР считается равным единице;
- до 2020-го года применяются фактические условия федеральной программы материнского капитала, а затем они остаются на уровне 2020 года;
- до 2020-го года применяются фактические значения стоимости 1 кв. метра жилья, а затем они остаются на уровне 2020 года.

³²

2. Оценка устойчивости работы модели.

Прежде чем оценивать результаты моделирования с точки зрения их соответствия наблюдавшейся демографической динамике, необходимо было убедиться в приемлемом качестве работы самой модели. В первую очередь оценить, достаточно ли велика популяция агентов в модели для получения устойчивости результатов.

³³ При установке стартового состояния системы в базовом году распределение характеристик агентов (присвоение каждому индивидуальному свойству каждого агента конкретного значения), а также образование родственных связей агентов осуществляется с использованием вероятностных распределений. Поэтому каждый запуск модели формирует уникальный вариант стартового состояния. Кроме того, при имитации процессов вымирания агентов и появления в системе новых также используются вероятностные процедуры. Поэтому результаты одного запуска (прогона) модели неизбежно отличаются от результатов других прогонов. В качестве итоговых результатов работы модели за каждый год имитации в дальнейшем использовались средние значения, полученные по множеству прогонов. Кроме того, считались отклонения от этих средних. При достаточно большой численности популяции агентов эти отклонения должны быть минимальными, что свидетельствует об устойчивости работы модели. Результаты оценки устойчивости работы модели для всех выходных показателей по России в целом представлены в таблице 1.

³⁴ **Таблица 1. Оценка устойчивости работы модели по показателям для России в целом**

Показатель	Отклонения от среднего по прогонам за весь период имитации – с 2002 по 2030 гг.	
	минимум	максимум
Численность населения, тыс. чел.	-0,019%	+0,017%
Доли основных возрастных групп в общей численности населения, %	-0,067 п.п.	+0,067 п.п.
Общий коэффициент рождаемости на 1000 чел. населения	-0,067 п.п.	+0,067 п.п.
Общий коэффициент смертности на 1000 чел. населения	-0,067 п.п.	+0,067 п.п.
Суммарный коэффициент рождаемости	-0,367%	+0,399%
Число рождений, тыс. чел.	-0,374%	+0,385%
Число смертей, тыс. чел.	-0,426%	+0,449%
Средний возраст, лет	-0,007 лет	+0,007 лет

35 Данные таблицы 1 свидетельствуют о том, что по общероссийским показателям модель показала высокую устойчивость в течение всего периода имитации. Результаты оценки устойчивости показателей в разрезе регионов России представлены в таблице 2.

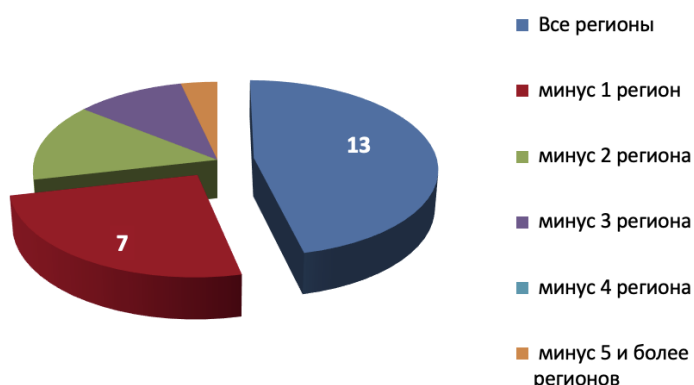
36 **Таблица 2. Оценка устойчивости работы модели по показателям в разрезе регионов**

Показатель	Отклонения от среднего по прогнозам для каждого региона за весь период имитации – с 2002 по 2030 гг.	
	минимум	максимум
Численность населения, тыс. чел.	–1,4%	+2,0%
Доля населения в трудоспособном возрасте в общей численности населения, %	–1,0 п.п.	+1,2 п.п.

37 При этом, медианные значения отклонений по множеству регионов для каждого показателя равны 0,0.

38 Следует отметить, что для показателя численности населения отклонения свыше $\pm 1,0\%$ наблюдались для статистики немногих регионов с малой численностью населения, таких как Ненецкий автономный округ, Республика Тыва, Чукотский автономный округ и др. На рисунке 5 показано распределение числа лет, в которых отклонение показателя численности населения от среднего значения не превышали $\pm 1,0\%$ по числу регионов, для которых выполнялись эти условия. На рисунке 5 видно, что отклонения свыше $\pm 1,0\%$ не наблюдались вовсе в течение 13-ти из 28-ми лет имитации, еще в течение 7 лет они наблюдались только в одном регионе, и лишь однажды наблюдались в 5-регионах.

39



40 *Рис. 5. Распределение числа лет, в которых отклонение показателя численности населения от среднего значения не превышали $\pm 1,0\%$.*

41 Еще большую устойчивость продемонстрировал показатель доли населения в трудоспособном возрасте в общей численности населения. Распределение числа лет, в которых отклонение этого показателя от среднего значения не превышали $\pm 0,5$ п.п. по числу регионов, для которых выполнялось это условие, показано на рисунке 6. А отклонения, превышающие $\pm 1,0$ п.п., наблюдались для этого показателя только в течение 2-х лет для одного из регионов.

42

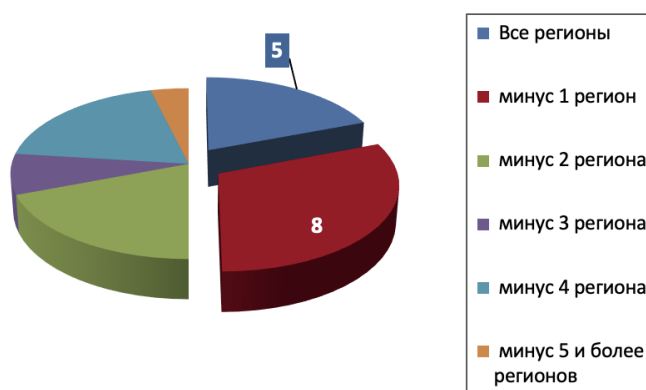


Рис. 6. Распределение числа лет, в которых отклонение показателя доли населения в трудоспособном возрасте в общей численности населения от среднего значения не превышали $\pm 0,5$ п.п.

43 На рисунке 6 видно, что отклонения, превышающие $\pm 0,5$ п.п., не наблюдались вовсе в течение 5-ти из 28-ми лет имитации, а еще в течение 8 лет они наблюдались только в одном регионе. Таким образом, в разрезе регионов по данным показателям модель показала высокую устойчивость в течение всего периода имитации. Показатели суммарного коэффициента рождаемости, числа рождений и смертей в региональном разрезе показали более существенный разброс, и их оценка с помощью модели при заданной численности агентов в 12 млн. не может считаться надежной. Очевидно, для улучшения устойчивости оценки данных показателей необходимо увеличить численность популяции агентов.

44

3. Оценка реалистичности работы модели

На этом этапе исследования результаты моделирования сравнивались с данными Росстата [3, 9] за период имитации с 2003 по 2019 годы и показали очень хорошее совпадение. В таблице 3 показаны отклонения результатов моделирования от данных Росстата по России в целом для основных демографических показателей.

45 Как видно из таблицы 3, наименьшую погрешность и одновременно наибольшую стабильность демонстрируют показатели, связанные с возрастной структурой населения – доли основных возрастных групп (максимальная погрешность 0,7 п.п.) и средний возраст населения (–0,6 лет). На этом же уровне находится погрешность для показателя общего коэффициента смертности (–0,6 п.п.). Данные таблицы 3 свидетельствуют о росте погрешности для показателя общего коэффициента рождаемости, начиная с 2012 года. На наш взгляд, одной из основных причин, вызвавших фактический рост рождаемости, явился запуск в 2012 году различных региональных программ поддержки семей детьми. В модели же имитировалось влияние только федерального материнского капитала.

46 **Таблица 3. Сопоставление результатов моделирования основных демографических показателей по России в целом с данными Росстата.**

	Численность населения (%)	Доля населения моложе трудоспособного возраста (п.п.)	Доля населения трудоспособного возраста (п.п.)	Доля населения старше трудоспособного возраста (п.п.)	Общий коэффициент рождаемости (п.п.)	Общий коэффициент смертности (п.п.)	Средний возраст агентов (лет)
2003	-0,1	0,0	-0,1	0,1	0,1	-0,1	-0,5
2004	-0,2	0,0	-0,1	0,1	0,2	-0,3	-0,5
2005	-0,3	0,0	0,0	0,1	0,6	-0,6	-0,6
2006	-0,3	0,0	0,2	-0,2	0,6	-0,1	-0,6
2007	-0,4	0,0	0,2	-0,2	-0,2	0,3	-0,5
2008	-0,6	0,3	-0,3	0,0	-0,2	0,1	-0,6
2009	-0,9	0,2	-0,3	0,1	-0,5	0,3	-0,5
2010	-1,2	0,1	0,4	-0,5	-0,6	0,0	-0,5
2011	-1,4	0,0	0,4	-0,4	-0,4	0,4	-0,6
2012	-1,6	0,0	0,5	-0,5	-1,0	0,4	-0,5
2013	-2,0	-0,1	0,5	-0,4	-0,8	0,5	-0,5
2014	-2,3	-0,2	0,6	-0,4	-0,9	0,3	-0,5
2015	-2,5	-0,2	0,7	-0,5	-1,0	0,2	-0,5
2016	-2,8	-0,2	0,5	-0,3	-0,7	0,2	-0,4
2017	-3,0	-0,2	0,4	-0,2	0,6	0,5	-0,4
2018	-3,1	0,0	0,2	-0,2	1,3	0,1	-0,4
2019	-3,1	0,2	-0,7	0,5	2,0	0,1	-0,4

47 Замеченные тенденции показателей смертности и рождаемости подтверждаются при анализе данных о числе смертей и рождений. На рисунках 7 и 8 сравнивается динамика этих показателей, полученных в результате работы модели, с данными Росстата. Рисунок 7 показывает хорошее совпадение результатов моделирования с фактическими данными, а рисунок 8, как и ожидалось, показывает существенные отклонения (до –10,3% в 2015 году).

48 Напомним, что в модели на уровне агентов имитировалась динамика суммарного коэффициента рождаемости (СКР), поэтому важно было рассмотреть реалистичность динамики именно этого показателя, которая представлена на рисунке 9. На рисунке 9 видно усреднение индекса этого показателя, заданное в эксперименте (с 2003 по 2006 годы), затем модель удачно имитирует рост СКР, вызванный запуском федеральной программы материнского капитала. Но в 2011 году наблюдается расхождение с фактическими данными на 0,068 (4,3%), и еще большие расхождения наблюдаются в 2017-2018 годах – на 0,166 (10,2%) и 0,227 (14,4%) соответственно, которые вызваны неучтенными в модели факторами.

49 *Рис. 7. Динамика числа смертей по России в целом, чел.*

50

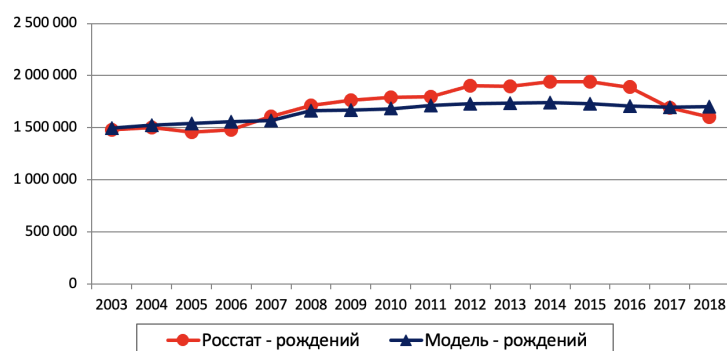


Рис. 8. Динамика числа рождений по России в целом, чел.

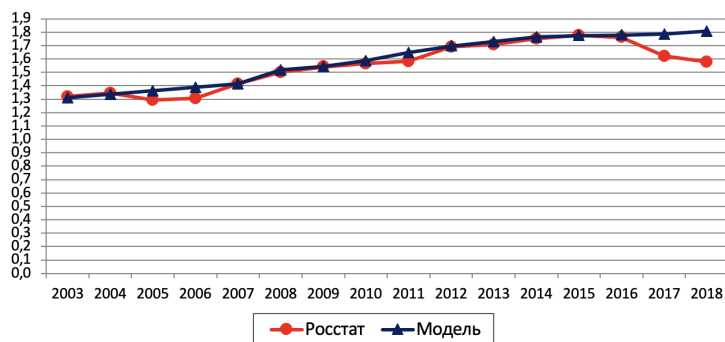


Рис. 9. Динамика суммарного коэффициента рождаемости по России в целом

Динамика основного интегрального демографического показателя – численности населения России – представлена на рисунке 10. Из данных таблицы 3 и на рисунке 10 видно, что разница между результатами моделирования и фактическими данными постепенно возрастает и к концу периода достигает порядка 4,5 млн. человек (3,1% от численности населения). Однако стоит учесть, что в течение всего этого периода наблюдалось положительное сальдо миграции, причем, суммарный миграционный прирост за 2003-2018 годы по данным Росстата составил свыше 3,2 млн. человек. Кроме того, наблюдалась внутренняя миграция, а ни внешний миграционный приток, ни внутренняя миграция между регионами в модели не имитировались, что не могло не отразиться на соответствии результатов моделирования фактическим данным.

53

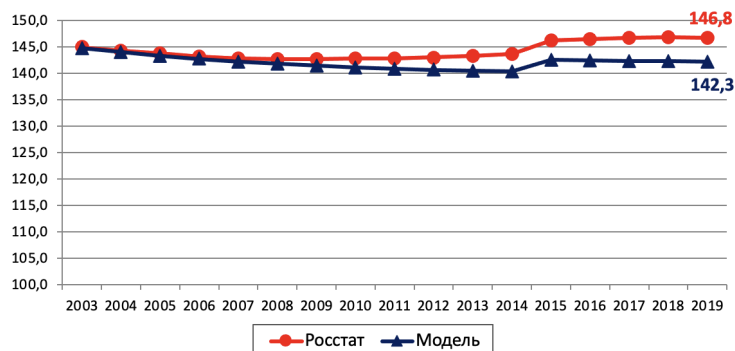


Рис. 10. Динамика численности населения России, млн. чел.

Целью последующих расчетов было оценить, насколько учет миграционных процессов позволит приблизить результаты моделирования к реальности. В расчетах использовались данные эксперимента, и к оценке, полученной при моделировании численности населения по России в целом и для каждого региона на период с 2003 по 2018 годы, были добавлены данные Росстата о миграционном приросте.

55

При расчетах за каждый год указанного периода по субъектам РФ и по России в целом учитывались не только вновь прибывшие (выбывшие), но и участие накопленной с начала периода численности прибывших (выбывших) в процессах естественного движения населения. Для чего использовались соответствующие региональные показатели общих коэффициентов рождаемости и смертности (на 1000 чел. населения).

56

Полученные оценки численности населения затем были сопоставлены с соответствующими данными Росстата. Результаты сопоставления по России в целом показаны в таблице 4 и на рисунке 11. На рисунке 11 также представлены варианты прогноза численности населения России до 2030 года – как полученный в результате имитации, так и с добавлением к нему данных о миграции (миграционный прирост прогнозировался на достаточно скромном уровне прироста 2019 года). Отдельно следует отметить, что все прогнозы проводились без учета форс-мажорных обстоятельств 2020 года, связанных с пандемией новой коронавирусной инфекции COVID-19. Очевидно, что эти обстоятельства повлияли как на показатели смертности, так и на показатели рождаемости.

57

Таблица 4. Сопоставление моделируемой численности населения России с фактическими данными, тыс. чел.

Годы	Данные Росстата	Результаты моделирования			
		Без учета миграции		С учетом миграции	
		Численность населения	Откл., %	Численность населения	Откл., %
2003	144963,7	144789,9	-0,1	144867,9	-0,07
2004	144333,6	144043,5	-0,2	144156,1	-0,12
2005	143801,0	143370,9	-0,3	143522,2	-0,19
2006	143236,6	142771,3	-0,3	143029,1	-0,14
2007	142862,7	142228,1	-0,4	142617,0	-0,17
2008	142747,5	141825,9	-0,6	142453,4	-0,21
2009	142737,2	141460,9	-0,9	142329,0	-0,29
2010	142833,5	141147,5	-1,2	142261,5	-0,40
2011	142865,4	140901,3	-1,4	142171,4	-0,49
2012	143056,4	140701,5	-1,6	142290,2	-0,54
2013	143347,1	140537,6	-2,0	142421,3	-0,65
2014	143666,9	140398,6	-2,3	142578,5	-0,76
2015	146267,3	142570,1	-2,5	145020,5	-0,85

2016	146544,7	142478,8	-2,8	145175,4	-0,93
2017	146804,4	142392,9	-3,0	145351,4	-0,99
2018	146880,4	142337,1	-3,1	145504,8	-0,94
2019	146780,7	142293,8	-3,1	145581,3	-0,82

58 Из таблицы 4 видно, что добавление к результатам моделирования данных о внешней миграции приводит к снижению расхождения модельных данных о численности населения России с данными Росстата фактически к уровню статистической погрешности (менее 1%).

59

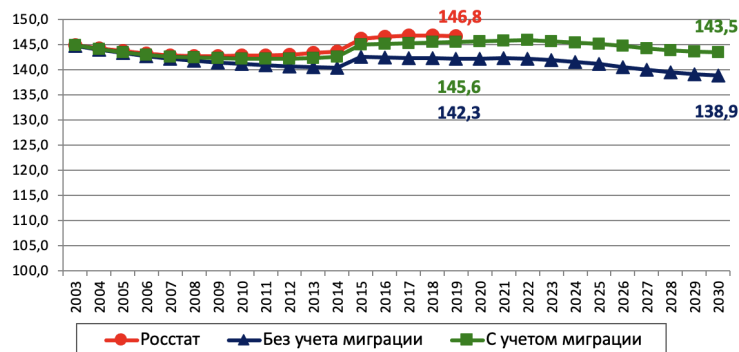


Рис. 11. Прогноз динамики численности населения России, млн. чел.

60 Рассмотрим теперь результаты моделирования численности населения в разрезе регионов. Наибольшее отклонение от фактических данных наблюдалось:

- 61 • в сторону завышения в таких регионах как: Магаданская область (28,9% к 2018 году), Республика Коми (22,7%), Еврейская автономная область (20,8%), Чукотский автономный округ (20,3%), Курганская область (18,3%), Мурманская область (17,0%), Камчатский край (16,3%). И в этих же регионах в течение всего исследуемого периода (для Чукотского автономного округа за исключением 2005-2006 гг.) наблюдался миграционный отток.
- в сторону занижения в таких регионах как г. Москва (–28,4% к 2018 году), г. Санкт-Петербург (–22,5%), Московская область (–21,6%), Ленинградская область (–18,6%), Краснодарский край (–14,5%), Республика Дагестан (–13,3%), Чеченская республика (–11,8%), Белгородская область (–10,1%). И в большинстве этих регионов в течение всего исследуемого периода наблюдался миграционный приток – за исключением Республики Дагестан и Чеченской республики.

62 Таким образом, можно было предположить, что учет фактора миграции, в том числе внутренней, позволит приблизить результаты моделирования к реальным данным о численности населения регионов. Однако такого точного совпадения, как в случае оценки населения России в целом, от региональных оценок ожидать не следовало в силу, как минимум, следующих особенностей модельных экспериментов: повозрастные коэффициенты смертности, распределение рождений по возрасту матери, а также распределение желаемого для агентов числа детей использовались для всех регионов одинаковыми – средними по России.

63 Расчеты проводились для каждого региона таким же образом, как и для России в целом. Полученные оценки численности населения регионов России были сопоставлены с соответствующими данными Росстата. Интегрированные результаты сопоставления показаны в таблице 5.

64 **Таблица 5. Оценка реалистичности результатов моделирования численности населения в разрезе регионов России. Отклонение от данных Росстата в %.**

Год	Медианное значение отклонения		Минимальное отклонение		Максимальное отклонение		Число (и доля) регионов, отклонение для которых в пределах $\pm 2,0\%$	
	Без учета миграции	С учетом миграции	Без учета миграции	С учетом миграции	Без учета миграции	С учетом миграции	Без учета миграции	С учетом миграции
2003	-1,0	-1,2	-3,6	-2,4	2,6	-0,7	72 (86,7%)	80 (96,4%)
2004	-0,7	-1,1	-5,7	-3,2	5,5	0,3	65 (78,3%)	77 (92,8%)
2005	-0,2	-0,9	-8,2	-4,2	6,3	1,1	54 (65,1%)	74 (89,2%)
2006	0,2	-0,5	-10,7	-5,2	10,3	2,1	46 (55,4%)	73 (88,0%)
2007	0,7	-0,3	-12,8	-5,9	14,1	3,0	38 (45,8%)	71 (85,5%)
2008	0,9	-0,1	-14,2	-6,7	15,3	3,6	33 (39,8%)	70 (84,3%)
2009	1,3	0,0	-15,6	-7,9	15,9	4,3	31 (37,3%)	66 (79,5%)
2010	1,4	0,1	-16,9	-9,2	16,6	5,1	27 (32,5%)	63 (75,9%)
2011	1,8	0,3	-18,7	-10,5	18,5	5,9	19 (22,9%)	58 (69,9%)
2012	2,1	0,3	-19,7	-11,8	19,8	6,6	15 (18,1%)	55 (66,3%)
2013	2,3	0,6	-22,7	-12,9	22,4	7,1	18 (21,7%)	54 (65,1%)
2014	2,4	0,8	-24,1	-13,6	23,9	7,7	19 (22,9%)	51 (61,4%)
2015	2,5	0,9	-25,1	-14,3	25,7	8,3	20 (23,5%)	48 (56,5%)
2016	2,7	0,7	-26,4	-14,7	26,5	8,9	20 (23,5%)	45 (52,9%)
2017	2,8	0,8	-27,2	-15,0	27,3	9,4	20 (23,5%)	42 (49,4%)
2018	3,0	1,1	-28,4	-15,2	28,9	10,1	19 (22,4%)	40 (47,1%)

65 Из данных таблицы 5 видно, что добавление к результатам моделирования данных о миграции приводит к значительному снижению расхождения модельных данных о численности населения регионов России с данными Росстата. Показательны данные о медианном по совокупности регионов значении отклонения (идеальное значение было бы равным нулю), а также данные о числе регионов (и доле от общего их числа), для которых погрешность находится в приемлемых

пределах. Данные таблицы 5 свидетельствуют о том, что хотя учет фактора миграции и позволил более чем в два раза увеличить число регионов с приемлемой погрешностью, но даже оно составило меньше половины к концу периода. То есть, неучтенными остались другие факторы. Об этом свидетельствует и то, что максимальные отклонения наблюдались теперь не в тех регионах, в которых были высокие показатели миграционного притока/оттока. Так, для перечисленных выше регионов отклонения составили:

- ⁶⁶ • а) Магаданская область (1,3% к 2018 году), Республика Коми (1,7%), Еврейская автономная область (6,9%), Чукотский автономный округ (3,3%), Курганская область (4,5%), Мурманская область (–0,8%), Камчатский край (1,1%).
- б) г. Санкт-Петербург (–6,4% к 2018), Ленинградская область (0,5%), Краснодарский край (–3,1%), Белгородская область (–1,0%), г. Москва (–11,5%), Московская область (–0,3%).

⁶⁷ В случае Москвы и Московской области еще одним неучтенным в модели фактором, снижающим качество модельного прогноза, является присоединение в 2012 году Новой Москвы. Причем, для того, чтобы учесть демографические последствия этого изменения административных границ, необходимы детальные данные о численности населения территории Новой Москвы и его возрастно-половой структуре. Особый случай – Республика Дагестан (–12,9% к 2018 году) и Чеченская республика (–15,2%), данные по которой составили весь столбец с минимальным отклонением. А максимальное отклонение от фактических значений продемонстрировала Псковская область (данные по ней составили весь столбец с максимальным отклонением). По-видимому, это является следствием именно усреднения использованных показателей смертности и показателей, ответственных в модели за рождаемость – распределения желаемого числа детей и рождений по возрасту матери.

⁶⁸ Что касается периода после 2020 года, то интересно было сопоставить полученные результаты с прогнозами Росстата. Так, прогноз модели с учетом миграции все годы имитации располагался между низким и средним вариантами прогноза Росстата. Например, в 2030 году низкий вариант дает оценку в 142,1 млн. чел. (–0,98% от прогноза модели), а средний – 145,5 млн. чел. (превышает на 1,39%). Следует отметить, что планируемый Росстатом уровень миграции в низком варианте практически совпадает с принятым в модельных экспериментах – суммарная миграция за период с 2020 по 2030 годы составила 1373,6 тыс. чел. (Росстат) и 1373,4 тыс. чел. (данные эксперимента).

⁶⁹

4. Оценка влияния программы материнского капитала

Наличие такого инструмента как АОМ позволяет ставить эксперименты, изменяя входные параметры, чтобы получить ответы на вопрос: «Что было бы, если...?». Так, для оценки влияния реализуемой федеральной программы материнского капитала на численность населения России был осуществлен прогноз при тех же параметрах предыдущего эксперимента, но без реализации программы материнского капитала. Результаты эксперимента показаны на рисунке 12.

⁷⁰

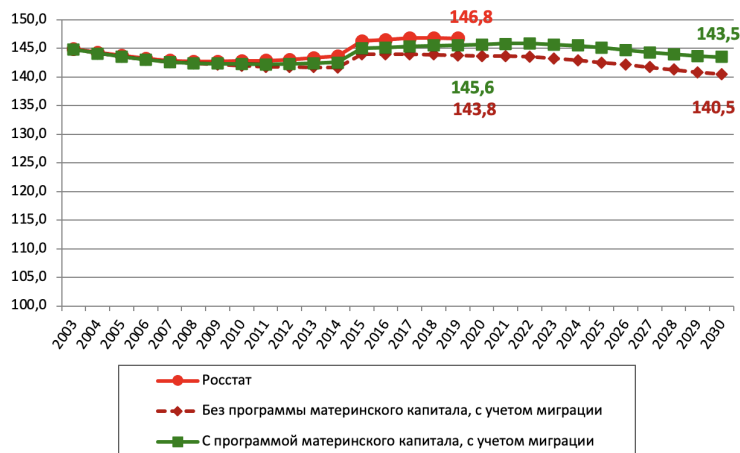


Рис. 12. Прогноз динамики численности населения России, млн. чел.

⁷¹ На рисунке 12 видно, что разница в численности населения между вариантами с материнским капиталом и без него постепенно увеличивается и к концу периода достигает 3-х млн. человек (2,14%) – именно такую оценку влияния материнского капитала на этот показатель дает модель.

⁷²

Заключение

Подводя итог проведенному анализу результатов эксперимента, отметим, что реализованный в модели агент-ориентированный подход продемонстрировал свою способность прогнозировать динамику демографических показателей не хуже традиционных методов. Представленная агент-ориентированная модель так же, как и традиционные методы, позволяет гибко учитывать наблюдавшиеся ранее тенденции развития процессов естественного движения населения, а также гипотезы экспертов об их дальнейшем продолжении. Но в добавление к этому модель позволяет учитывать дифференциацию отдельных групп населения с точки зрения их реакции на управляющие воздействия, вплоть до имитации индивидуальной реакции людей на изменение внешней среды, зависящей от их личностных характеристик и обстоятельств. В эксперименте это проверено на примере имитации реализации федеральной программы материнского капитала и реакции на нее агентов-женщин, различающейся в зависимости от: региона их проживания; возраста; числа желаемых и уже рожденных детей; от того, попадают ли они в категорию людей, которым положена поддержка; а также от значимости для них суммы материнского капитала.

⁷³

Проведенный анализ выявил также и первоочередные направления развития модели, которые позволят сделать имитацию еще более реалистичной. В первую очередь, это добавление процедур имитации миграции агентов. Для

моделирования миграции необходимо не только использовать информацию по направлениям и мощности миграционных потоков, а также и о возрастно-половой структуре этих потоков. Главное – то, что в модели должны быть разработаны новые блоки, имитирующие новые поведенческие паттерны агентов, зависящие от экономических, экологических и других факторов. Разработка алгоритмов новых имитационных процедур должна опираться на дополнительные исследования и/или консультации экспертов, которые позволят количественно оценить возможную реакцию агентов. Очевидно, что для учета новых факторов потребуется наделить и агентов, и их среду дополнительными свойствами.

⁷⁴ Второе важное направление развития модели – это добавление имитации реакции агентов на другие виды мер поддержки. Развитие модели именно в этом направлении, наверное, является самым перспективным, тем более что это позволит создать имитацию влияния региональных мер поддержки семей с детьми, причем, не только финансовой. В том же опросе, на который мы уже ссылались [11], люди говорили о том, что нужны центры образования и развития детей, в том числе, внешкольные. Очевидно, что подобное развитие модели потребует введения новых видов объектов, имитирующих соответствующую социальную инфраструктуру, и разработки новых блоков.

⁷⁵ Отметим, что с технологической точки зрения развитие модели может подразумевать принципиально различные ситуации: а) модификация заложенных механизмов имитации процессов; б) добавление механизмов имитации новых процессов; в) добавление новых типов объектов/агентов вместе с механизмами имитации процессов, в которых они участвуют. Если не разрабатывать совершенно новые механизмы имитации, то первая ситуация потребует локальных изменений в программном коде. Вторая – разработки новых блоков и, возможно, согласования их работы с уже существующими механизмами. Третья – не только разработки новых блоков, но и добавления взаимодействия уже имеющихся типов агентов с новыми. Тот фреймворк, который разработан нами в ЦЭМИ РАН и в рамках которого реализована представленная демографическая АОМ России, позволяет развивать модель не только косметически, но и вводить новые процессы и новые типы объектов. То есть, все эти варианты технически осуществимы, хотя и с разной степенью трудоемкости. Причем самым трудоемким может оказаться этап проектирования, который требует отдельного исследования особенностей моделируемых процессов.

Библиография:

1. Бахметова Г.Ш. Методы демографического прогнозирования. М.: Финансы и статистика, 1982.
2. Вишневский А.Г. Воспроизводство населения и общество: История, современность, взгляд в будущее. – М. : Финансы и статистика, 1982.
3. Демографический ежегодник России. 2019: Стат.сб. / Росстат. – М., 2019.
4. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р. Социальное моделирование – новый компьютерный прорыв (агент-ориентированные модели). – М. : Экономика, 2013.
5. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Сушко Г.Б. Разработка агент-ориентированной демографической модели России и ее суперкомпьютерная реализация // Вычислительные методы и программирование. 2018, Т. 19. DOI: 10.26089/NumMet.v19r433.
6. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Сушко Г.Б. Система проектирования масштабируемых агент-ориентированных моделей, включающих популяции агентов разных типов с динамически изменяющейся численностью и сложными многоэтапными взаимодействиями агентов, образующих социальные сети. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020612410, 20.02.2020. Заявка № 2020611366 от 06.02.2020.
7. Национальный проект «Демография» / Минтруд России, 2018. // URL: <https://mintrud.gov.ru/uploads/editor/e4/60/%D0%9D%D0%9F%20%D0%94%D0%B5%D0%BC%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0>
8. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2019: Стат. сб. / Росстат. – М., 2019.
9. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. – М. : Эдиториал УРСС, 2002.
10. Федеральный закон «О дополнительных мерах государственной поддержки семей, имеющих детей» от 29.12.2006 N 256-ФЗ.
11. Шабунова А.А., Ростовская Т.К. О необходимости разработки модели оптимальных условий для формирования и реализации демографических установок // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2020, Т. 13, № 4
12. Яковлев Е.И. Как материнский капитал повлиял на рождаемость // URL: <https://www.vedomosti.ru/opinion/articles/2020/02/27/823925-materinskii-kapital>
13. Bakhtizin A.R., Makarov V.L., Sushko E.D and Sushko G.B. 2019. The application of graph decomposition to development of large scale agent-based economic models. Advances in Systems Science and Applications. 19, 1 (Apr. 2019), 141-149. DOI: <https://doi.org/10.25728/assa.2019.19.1.594>
14. Diaz B.A. Agent-Based Models on Social Interaction and Demographic Behaviour (Ph.D. Thesis). Wien: Technische Universität, 2010. 93 p.
15. Silverman E., Bijak J., Noble J., Cao V., Hilton J. Semi-Artificial Models of Populations: Connecting Demography with Agent-Based Modelling. In: Chen S.-H., et al (Eds.), Advances in Computational Social Science: The Fourth World Congress, Agent-Based

Social Systems 11, Springer Japan, 2014, pp. 177-189. DOI: 10.1007/978-4-431-54847-8_12.

16. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). World Population Prospects 2019, custom data acquired via website // URL: <https://population.un.org/wpp/>

Demographic Agent-based model of Russia and Assessment of its Applicability for Solving Practical Management Problems

Albert Bakhtizin

*Central economic and mathematical Institute of the Russian Academy of Sciences
Russian Federation, Moscow*

Valery Makarov

*Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences
Russian Federation, Moscow*

Elena Sushko

*Central economic and mathematical Institute of the Russian Academy of Sciences
Russian Federation, Moscow*

Aleksey Maksakov

*Bauman Moscow State Technical University
Russian Federation, Moscow*

Abstract

The article presents the developed agent-based model of Russia, designed to simulate the processes of population reproduction and the influence of measures to support families with children on these processes. The results of testing this demographic model in the course of computer experiments to predict the main demographic indicators for Russia as a whole and in the context of regions are shown. The properties of the model itself, as well as the plausibility of imitating the main demographic processes in it by comparing the simulation results with real statistical data over a long retrospective period, have been investigated. Prognosis of demographic indicators up to 2030 have been received. The advantages of the agent-based approach to modeling demographic processes are formulated. The promising directions of development of the presented model are indicated.

Keywords: projections of population growth, population projection of Russia, agent-based modeling, imitation of demographic processes, supercomputer technologies, approbation of management influences

Date of publication: 12.06.2021

Citation link:

Bakhtizin A., Makarov V., Sushko E., Maksakov A. Demographic Agent-based model of Russia and Assessment of its Applicability for Solving Practical Management Problems // Artificial societies. 2021. Vol. 16. Issue 2. URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800015357-1-1/>
DOI: 10.18254/S207751800015357-1