

# СОВРЕМЕННЫЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ АНАЛИЗА И УПРАВЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Экономика региона. — 2015. — №3. — С. 312-322

doi 10.17059/2015-3-25

УДК 519.876.5; 314.186; 004.942

**В. Л. Макаров, А. Р. Бахтизин, Е. Д. Сушко**

Центральный экономико-математический институт РАН (Москва, Российская Федерация)

## ИМИТАЦИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ РЕПРОДУКТИВНОГО ПОВЕДЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ В АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННОЙ МОДЕЛИ РЕГИОНА<sup>1</sup>

*Работа посвящена исследованию влияния неравномерности демографического перехода на социально-демографические характеристики населения региона и их динамику. Исследование проводилось с помощью компьютерных экспериментов (симуляций), поставленных на оригинальной агент-ориентированной модели. В работе описана конструкция этой модели, представляющей собой искусственное общество, личностные характеристики членов которого (агентов) присваиваются таким образом, чтобы воспроизвести половозрастную структуру населения моделируемого региона. Агенты разделены на две группы, различающиеся репродуктивными стратегиями. Агенты первой группы придерживаются традиционной стратегии, для которой характерна высокая рождаемость, а агенты второй группы — современной, при которой рождаемость существенно ниже.*

*В модели на основе использования вероятностных механизмов имитируются процессы естественного движения населения региона — смертность и рождаемость. Вымирание агентов происходит в соответствии с коэффициентами смертности, дифференцированными по полу и возрасту, но одинаковыми для всей популяции. Создание же новых агентов (рождение детей) в модели является результатом выбора агентов, представляющих женщин репродуктивного возраста, и выбор этот зависит от их внутренних установок, связанных с принадлежностью к той или иной группе. Возрастная и социальная структура населения региона в целом образуется в результате агрегирования действий отдельных агентов.*

*С использованием модели был проведен ряд экспериментов по прогнозированию численности и структуры населения условного региона. Результаты экспериментов показали, что разработанная агент-ориентированная модель, несмотря на очевидное упрощение действительности, верно воспроизводит как начальное состояние населения региона, включая его половозрастную и социальную структуру, так и динамику основных характеристик этого населения.*

**Ключевые слова:** агент-ориентированное моделирование, демография, типы воспроизводства населения, прогнозирование численности и структуры населения региона

### Введение

В основе прогнозирования развития любых социально-экономических процессов, происходящих как на территории всей страны, так и на территории отдельных ее регионов, очевидно, должен лежать качественный прогноз динамики воспроизводства населения с учетом его структуры и пространственного распределения. Особенно важно понимание того, как будут развиваться основные социальные

группы населения (например, городского и сельского населения) и каково будет их соотношение как в разрезе различных возрастных когорт, так и в разрезе основных возрастных групп, таких как дети, подростки, трудоспособное население и население старше трудоспособного возраста.

К процессам, определяющим динамику численности и структуры населения, относятся такие процессы воспроизводства населения, как рождаемость, смертность и миграция. В данной работе мы фокусируем свое внимание на анализе и моделировании влияния демогра-

<sup>1</sup> © Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д. Текст. 2015.

фического перехода на социально-демографические характеристики населения. Этот феномен подробно рассматривался в работах многих известных демографов, как зарубежных, так и отечественных, здесь достаточно сослаться на работу А. Г. Вишневого [1].

В последнее время для прогнозирования поведения сложных социально-экономических систем все шире применяется имитационное моделирование, особенно такой его бурно развивающийся вид, как агент-ориентированное моделирование [2, 3]. Основная идея, лежащая в основе агент-ориентированных моделей (АОМ), заключается в построении вычислительного инструмента, представляющего собой совокупность агентов, искусственное общество, состоящее из взаимодействующих между собой самостоятельных агентов с определенным набором свойств.

Кроме способности взаимодействовать друг с другом, агенты наделяются также способностью взаимодействовать с окружающей их средой, макроуровнем в модели. Для этого в модели задаются характеристики внешней для агентов среды, оказывающие существенное (в свете рассматриваемых процессов) влияние на состояние и поведение агентов, а также правила, регулирующие поведение агентов в зависимости от внутренних свойств и характеристик среды. Правила реализуются в АОМ следующим образом: агенты снабжаются процедурами поиска информации, важной с точки зрения выбора допустимых для них действий, а также процедурами подобного выбора и «реализации действий» — самостоятельного изменения своих характеристик. Ответное влияние действий агентов на состояние макроуровня специфицируется в модели с помощью процедур агрегирования действий отдельных агентов.

Схема взаимодействия агента со средой дана на рисунке 1, где  $d_{ii}$  — конкретное действие, выбранное агентом  $i$  в момент модельного времени  $t$ , а  $D$  — множество всех действий, доступных агенту  $i$  в этот момент времени:

$$d_{ii} \in D = \{d_{ii}\}.$$

В свою очередь,  $I$  — множество показателей среды, которые агент способен воспринимать в момент модельного времени  $t$ :  $I = \{i_{ij}\}$ .

Таким образом, работа АОМ основана на имитации индивидуального поведения каждого из агентов — членов этого общества, а изменения общего состояния всей системы являются интегральным результатом действий отдельных агентов. Важно отметить, что в агент-

ориентированной модели можно отказаться от усреднения характеристик агентов и воссоздавать социальную, социально-экономическую и (или) социально-демографическую структуру моделируемого реального общества (в зависимости от поставленных задач) с учетом разнообразия его членов. Полноценная реализация АОМ стала возможной только с появлением современных вычислительных средств, а переход к программированию АОМ на суперкомпьютерах позволяет разработчикам моделей и численность популяции агентов в АОМ довести до численности членов моделируемого социума. Такой подход, с одной стороны, дает возможность достаточно адекватно описывать в модели поведение каждого отдельного агента, приближая его образ и поведение к образу и поведению членов реального общества, а с другой стороны, позволяет ставить с помощью компьютерных симуляций эксперименты по изменению ключевых параметров внешней среды, влияющих на поведение агентов, и наблюдать отклик на эти изменения как отдельных агентов, так и различных их групп, а также всей системы в целом.

Учитывая то, что демографические процессы в обществе во многом определяются индивидуальным выбором отдельных людей, не удивляет широкое применение АОМ в моделировании этой сферы. Рассмотрим наиболее известные модели, разработанные за рубежом, где применение АОМ для моделирования демографических процессов используется уже более 10 лет [4-10].

В статье «Демография и социальное моделирование: история двух подходов к моделированию» [4] рассматривается АОМ популяции людей, разработанная для отражения потенциальной синергии от применения агентного подхода к исследованию демографических процессов. Агенты в модели имеют сложную структуру с большим числом состояний, а прогноз демографической динамики возможен на различных уровнях — от отдельных домашних хозяйств до всего населения Великобритании.

В работе «Агент-ориентированная модель заключения брака» [5] рассматривается АОМ, в которой взаимодействующие в социуме агенты вступают в брак, а вероятность этого события зависит, в основном, от числа доступных партнеров. При этом склонность к бракосочетанию определяется также долей агентов от общего числа, уже заключивших брак. Продолжением предыдущего исследования является работа «Агент-ориентированное моделирование социальных взаимодействий и

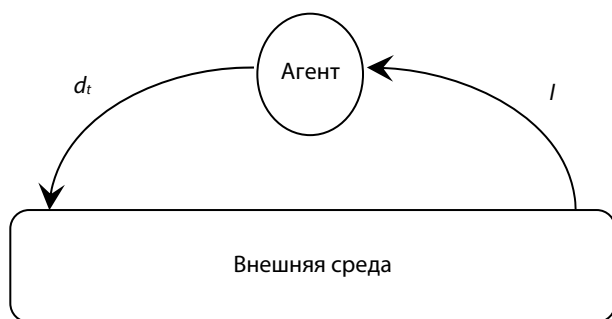


Рис. 1. Схема взаимодействия агента со средой

демографического поведения» [6], в которой описаны три АОМ, рассматривающие различные составляющие демографической системы, в частности, процесс создания браков, изменение рождаемости и др.

В книге «Динамика численности населения и проекционные методы» [7] исследуются демографические проблемы Западной Европы, связанные со старением населения, увеличением числа разводов, снижением количества заключенных браков, увеличением числа мигрантов и т. д. Для исследования этих процессов, взаимоувязанных с экономической ситуацией, а также со странами — донорами миграции, применяются агентные модели.

Приходится отметить, что несмотря на многочисленные исследования, посвященные прогнозированию демографических процессов, которые проводят научные центры в России (к примеру, Высшая школа экономики, Институт социально-экономических проблем народонаселения РАН, Московский государственный университет, Европейский университет в Санкт-Петербурге и др.), агентный подход применительно к моделированию социальной системы России ими практически не используется. В связи с этим разрабатываемая нами модель, общая концепция которой показана в статье [11], может рассматриваться в качестве одной из первых.

### Метод. Концепция модели

В настоящей работе мы сосредоточимся на детализации процессов рождаемости, обосновании выбранного подхода к их моделированию, покажем конструкцию модели, реализующую данный подход, и обсудим результаты, полученные в ходе экспериментов для условного региона.

Возвращаясь к поднятой выше теме демографического перехода — перехода от традиционного типа воспроизводства к современному, — следует отметить существенные отличия в темпах этих процессов в разных странах. И если в индустриально развитых странах пе-

реход от высоких уровней показателей смертности и рождаемости к низким их уровням уже произошел, то в остальных странах эти показатели изменяются несинхронно, причем снижение рождаемости отстает от снижения смертности на одно-два поколения. Это вызвано тем, что различается репродуктивное поведение людей в традиционном и современном обществах — время вступления в брак, а также среднее число рождаемых каждой женщиной детей. Так, суммарный коэффициент рождаемости в современном обществе зачастую снижается до уровня, не обеспечивающего простое воспроизводство. Особенности этих процессов в нашей стране хорошо представлены, например, в сборнике [12], посвященном результатам уникального социально-демографического исследования «Родители и дети, мужчины и женщины в семье и обществе». Это исследование проводилось в рамках международной программы «Поколения и гендер», объединившей исследователей-демографов из более 30 стран мира. Репродуктивные стратегии женщин современной России изучены также в работе [13]. Для нас важно то, что результаты этих работ позволяют не просто перенести фокус моделирования демографических процессов на микроуровень и применить агент-ориентированный подход, но и создать достаточно интеллектуальных, интенциональных агентов [14], то есть, агентов, наделенных собственными механизмами мотивации. Для таких агентов каким-либо образом моделируются внутренние убеждения, желания, намерения и мотивы, порождающие цели, которые и определяют действия агентов.

В нашей модели роль таких «убеждений» будут выполнять желаемое максимальное число детей, а также распределение рождения этих детей в течение репродуктивного периода женщины. При этом на одной территории в модели будут присутствовать агенты, представляющие как традиционный тип воспроизводства, так и современный — оба эти типа воспроизводства наблюдаются на территории нашей страны, хотя и в разной пропорции для представителей разных этнических и социальных групп (например, заметна разница между городским и сельским населением).

Для моделирования таких демографических процессов, как смертность и рождаемость населения (миграция в модели не учитывается), мы воспользовались комбинацией двух методов [15]:

1) метод передвижки возрастов, при котором каждый год выжившие в соответствии с

половозрастными коэффициентами выживаемости ежегодно становятся на год старше и участвуют в репродуктивном процессе (в соответствии с данными о рождаемости для женщин фертильного возраста);

2) покомпонентный метод, основанный на учете динамики основных демографических показателей — смертности и рождаемости. То есть, на основе наблюдений выявляются тенденции изменения этих показателей и строятся соответствующие индексы, которые и используются затем в моделировании, изменяя для каждого прогнозного года демографические показатели в методе передвижки возрастов.

Различные сценарии при такой процедуре перспективного исчисления численности населения получаются при варьировании индексов, фактически означая разные предположения о развитии отдельных процессов.

*Имитация смертности.* В модели используются коэффициенты смертности для получения значений вероятности умереть для агента каждого возраста — отдельно для мужчин и женщин. При переходе к следующему шагу (году в реальной действительности) коэффициенты смертности перед применением умножаются на соответствующий индекс. Таким образом, исходными данными для имитации этого процесса служат половозрастные коэффициенты смертности и индексы их изменения. Коэффициенты смертности для агентов двух типов приняты одинаковыми.

Смерть (если не учитывать суицид) происходит не по воле агентов, в то время как рождаемость в модели в значительной степени зависит от индивидуального выбора каждого агента.

*Имитация рождаемости.* Агенты репродуктивного возраста в модели могут принимать решение о рождении детей. При этом мы исходили из установки, что показатели рождаемости должны получаться в соответствии с внутренними установками агентов, различающимися в зависимости от их типов. Поэтому исходными данными для имитации процесса рождаемости служат данные о соотношении численности агентов разных типов, а также статистические данные о рождаемости, дифференцированные по типам агентов и возрасту матерей при рождении детей.

В соответствии с таким подходом формируется минимальный набор характеристик агентов и внешней среды, необходимый для имитации процессов воспроизводства.

Для агентов:

- тип репродуктивного поведения;
  - пол;
  - возраст;
  - максимальное (желаемое) число детей;
  - фактическое число детей.
- Для среды:
- общая численность популяции агентов;
  - доля агентов традиционного типа;
  - половозрастная структура популяции агентов;
  - доля агентов традиционного типа в каждой возрастной когорте;
  - коэффициенты смертности, дифференцированные по полу и возрасту;
  - индексы изменения коэффициентов смертности;
  - суммарные коэффициенты рождаемости для двух типов агентов;
  - индексы изменения коэффициентов рождаемости;
  - параметры распределений, с помощью которых случайным образом определяется число детей для агентов — представительниц каждого типа;
  - распределение рождений по возрасту матери для двух типов агентов.

При имитационном моделировании большое значение имеет не только правильная организация процессов, происходящих в течение модельного времени, но и точное воссоздание в начале работы модели стартового состояния системы.

### Результаты. Конструкция разработанной модели

Рассмотрим теперь, как все это реализовано в разработанной нами в среде *AnyLogic*<sup>1</sup> демографической модели условного региона, общая схема работы которой дана на рисунке 2.

A1. Начало работы симулятора после запуска модели.

1. Установка стартового состояния системы.

A2. В начале работы модели из базы данных, представляющей собой таблицы Excel, считывается массив исходной информации. Таким образом, информация, необходимая для построения модели, отделена от программных средств и может быть в любой момент заменена, например, на данные о реальном регионе.

<sup>1</sup> *AnyLogic* — инструмент имитационного моделирования, который поддерживает все подходы к созданию имитационных моделей: процессно ориентированный (дискретно-событийный), системно-динамический и агентный, а также любую их комбинацию. Более подробно: <http://www.anylogic.ru>.

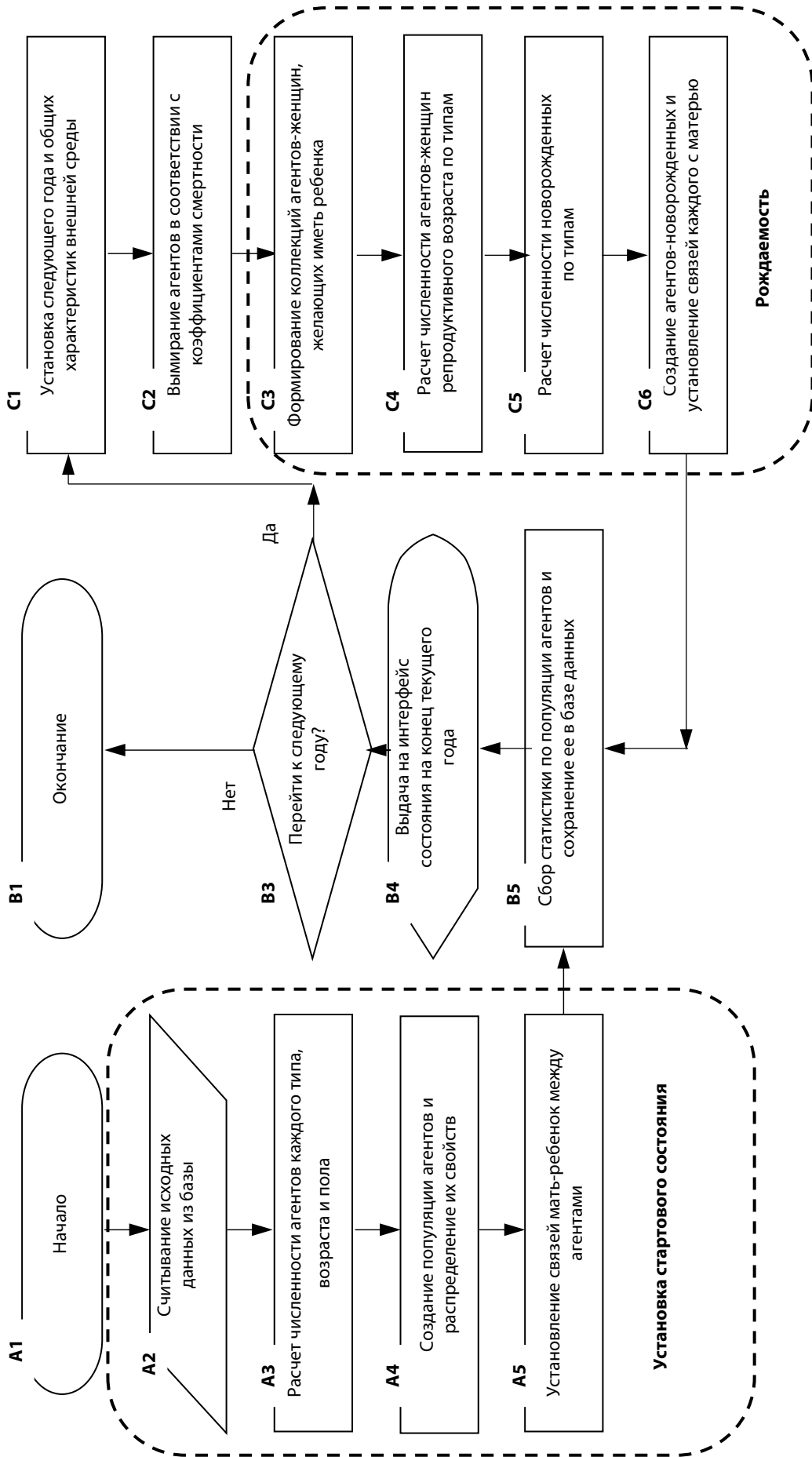


Рис. 2. Общая схема работы демографической модели

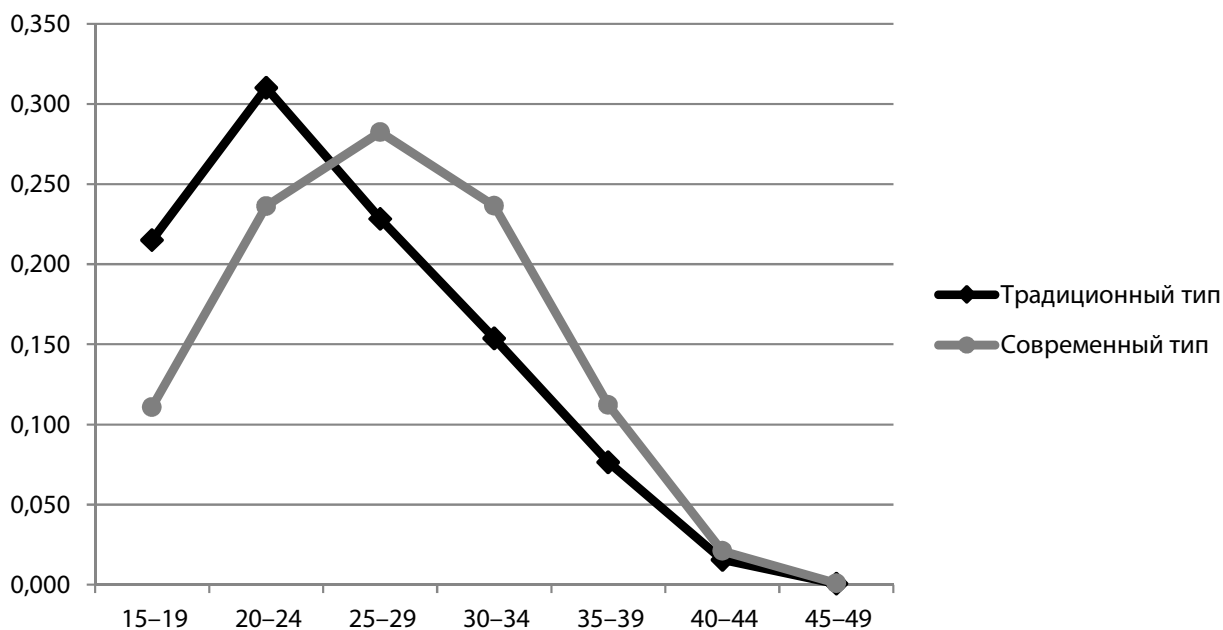


Рис. 3. Доли от общей численности новорожденных для матерей из разных возрастных групп

Параметрами модели служат общая численность популяции агентов, а также доля в этой численности агентов традиционного типа. Для воссоздания структуры популяции агентов используется исходная информация, представленная в виде стандартных возрастно-половых пирамид, соответствующих двум типам воспроизводства (для популяции агентов традиционного типа характерна относительно большая численность новорожденных и детей, поэтому пирамида имеет более широкое основание).

**A3.** На основе исходных данных рассчитываются как численности агентов-мужчин и агентов-женщин в разных возрастных когортах, так и доли в них агентов традиционного типа, которые, очевидно, будут отличаться от заданного значения для популяции в целом.

**A4.** После чего создается заданное количество агентов, и каждому агенту присваиваются такие значения возраста, пола и типа, чтобы структура создаваемой популяция точно воспроизводила рассчитанную на основе исходных данных. Каждому агенту-женщине присваивается также выбранное случайным образом с помощью  $\beta$ -распределения желаемое число детей в интервале от минимального до максимального для ее типа.

**A5.** Устанавливаются родственные связи между созданными агентами, для чего используются данные о распределении рождений по возрасту матери. Фактически для каждого агента моложе двадцати лет случайным образом с помощью  $\beta$ -распределения определяется возраст его матери, а затем из когорты

полученного возраста выбирается агент-женщина того же типа, желаемое число детей которой больше числа рожденных. То есть, считается, что тип ребенка совпадает с типом матери. Агент-ребенок и агент-мать запоминают друг друга, а кроме того, к числу детей агента-женщины добавляется единица. Параметры используемых здесь  $\beta$ -распределений подобраны таким образом, чтобы получаемые частоты выпадения возрастов соответствовали эмпирическим данным о распределении рождений по возрасту матери для двух типов агентов, представленным на рисунке 3.

**2. Анализ текущего состояния популяции агентов.**

**B5.** Собирается статистика по популяции агентов — ее общая численность, численность агентов-мужчин и агентов-женщин по возрастным группам и типам. Собранная статистика сохраняется в таблицах выходного Excel файла.

**B4.** Интерфейс модели демонстрирует пользователю «фактическое» состояние популяции в текущем году, а также графики, показывающие изменение отслеживаемых результатов работы модели в течение модельного времени.

**3. Переход к следующему шагу симуляции.**

**B3.** Здесь программа ждет решения пользователя о прекращении или продолжении симуляции. В первом случае происходит остановка работы модели (блок B1), а во втором — переход к реализации блока C1.

**C1.** К значению переменной года прибавляется единица, а коэффициенты смертности и рождаемости умножаются на соответствующие индексы.

#### 4. Процедура смертности.

С2. Для каждого агента популяции с вероятностью, соответствующей его полу, возрасту и типу, определяется, умрет ли он в текущем году. Если агенту выпадает смерть, то он удаляется из всех коллекций, в которых присутствовал — коллекции женщин, желающих родить и (или) коллекций родственников, а затем уничтожается. Если же агенту выпадает жить, то его возраст увеличивается на единицу.

После завершения обработки популяции агентов все коллекции агентов, связанные с возрастными когортами, перемещаются в когорту следующего возраста.

#### 5. Процедура рождаемости.

С3. Для каждого возраста от 15 до 49 лет — репродуктивного для женщин — формируются отдельные коллекции агентов-женщин каждого типа, желающих родить ребенка. Эти коллекции пополняют сами агенты-женщины в соответствии со своим возрастом и типом, если их желаемое число детей больше фактического, именно этот выбор и представляет собой действие, доступное агентам в модели. Таким образом, желаемое число детей является основным фактором, определяющим в модели репродуктивную активность агентов-женщин.

С4-С5. Для каждого типа отдельно рассчитывается общее число агентов-женщин репродуктивного возраста и общее число младенцев, которых они должны родить в текущем году, соответствующее заданным суммарным коэффициентам рождаемости.

С6. Для каждого типа создается рассчитанное количество агентов нулевого возраста, а пол каждого новорожденного агента определяется случайным образом (женский — с вероятностью 0,488 [16]).

Каждому новорожденному агенту подбирается мать из коллекций агентов-женщин репродуктивного возраста, желающих в этом году родить ребенка. Процедура подбора матери и установления с ней родственной связи описана выше. Если число рожденных агентом-матерью детей при этом сравнивается с числом желаемых, то она удаляется из коллекции желающих родить, и больше не будет участвовать в репродуктивном процессе.

После завершения работы данного блока происходит переход к анализу текущего состояния популяции агентов — возврат к блокам В5-В6.

### Заключение

С использованием модели были проведены эксперименты по прогнозированию измене-

ния численности популяции агентов, населяющих условный регион, возрастной структуры этой популяции, а также соотношения численности агентов разных типов для основных возрастных групп и для популяции в целом. Были проведены двадцать экспериментов при следующих значениях параметров:

- общая численность популяции агентов — 100 000;
- доля агентов традиционного типа — 10 %;
- показатели смертности для агентов двух типов совпадают и совпадают с данными по России в целом;
- суммарный коэффициент рождаемости для агентов-женщин традиционного типа — 3, а для современного типа — 1,4;
- минимальное число желаемых детей для агентов традиционного типа — 2, а максимальное — 10; для агентов современного типа — 0 и 3 соответственно;
- базовый год — 2007-й;
- период симуляции — 20 шагов (лет);
- коэффициенты смертности и рождаемости остаются неизменными на протяжении всего периода.

Так как в процессе работы модели для получения характеристик агентов многократно используются различные вероятностные распределения, то результаты экспериментов не могут совпадать полностью. Поэтому в качестве прогнозных значений характеристик популяции были взяты их соответствующие средние по всем экспериментам. А кроме того, был проведен анализ устойчивости модели как величины относительных отклонений значений этих характеристик от средних. Так, для общей численности популяции отклонения от среднего значения на протяжении двадцати лет располагались в интервале от -0,23 % до 0,16 %, что можно считать очень хорошим результатом.

Анализ результатов экспериментов показал, что модель адекватно имитирует такие наблюдаемые в реальной жизни процессы, как снижение общей численности населения (депопуляция), а также его старение. Снижение численности агентов на рисунке 4 заметно, начиная с 2016 г., там же показаны максимальные и минимальные значения численности агентов по годам. Старение населения видно на рисунке 5, на котором можно заметить, что численность агентов моложе пятидесяти лет неуклонно снижалась на протяжении всего периода, а численность агентов старше восьмидесяти лет — возрастала, подробнее это показано в таблице 1.

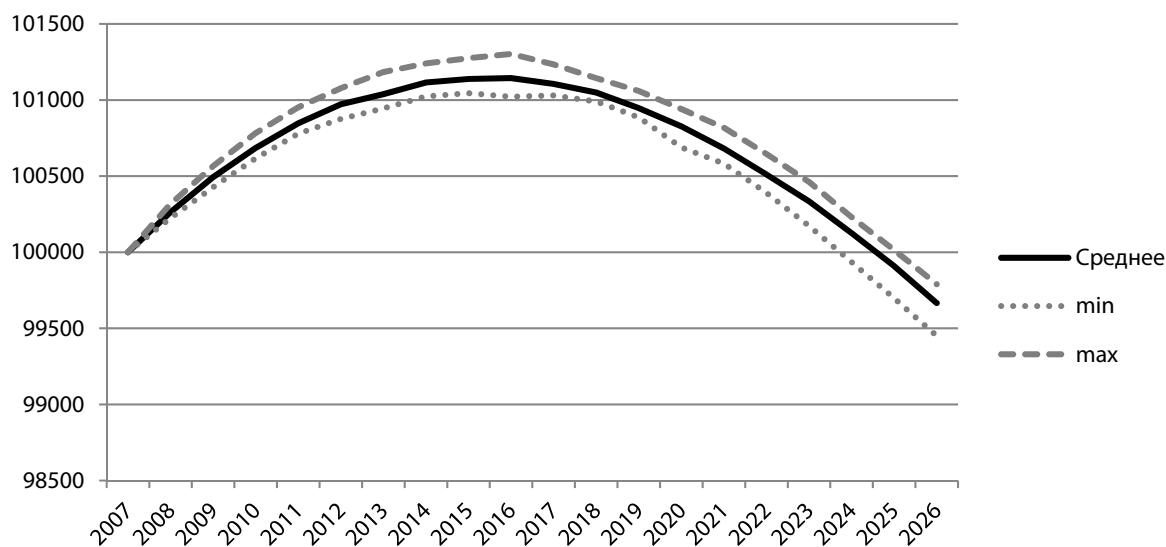


Рис. 4. Динамика численности популяции агентов

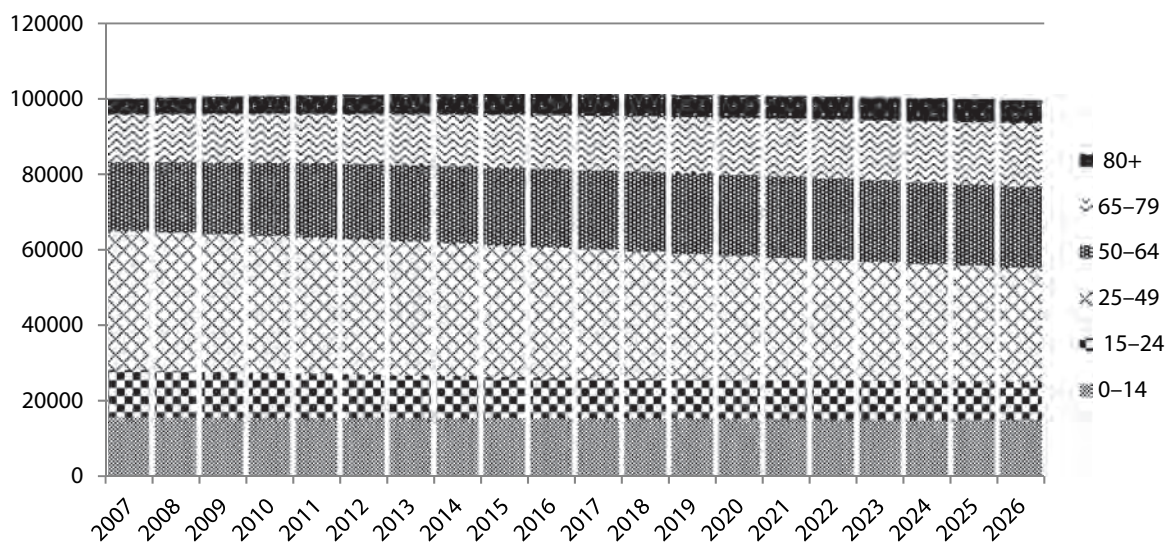


Рис. 5. Динамика возрастной структуры популяции агентов

Таблица 1

Абсолютное и относительное старение, наблюдаемое в популяции агентов

Возрастные группы	2007 год		2026 год		Прирост численности за период, %
	Численность агентов	Доля в популяции, %	Численность агентов	Доля в популяции, %	
0–49 лет	64898	64,9	55194	55,4	–15,0
Старше 80 лет	4249	4,2	6215	6,2	46,3
Вся популяция	100000		99666		–0,3

Если же мы посмотрим на структуру популяции агентов с точки зрения их приверженности к разным стратегиям репродуктивного поведения, то очевидно, что соотношение численности агентов двух типов будет неодинаковым в разных возрастных группах. Этот эффект показан на рисунке 6, на котором видно, что при общем небольшом росте доли агентов традиционного типа на каждом шаге моделирова-

ния эта доля, к тому же, заметно различается в разных возрастных группах — она тем выше, чем возрастная группа моложе. Подробнее это показано в таблице 2.

Таким образом, можно заключить, что разработанная агент-ориентированная модель, несмотря на очевидное упрощение действительности, верно воспроизводит как начальное состояние населения условного региона, вклю-



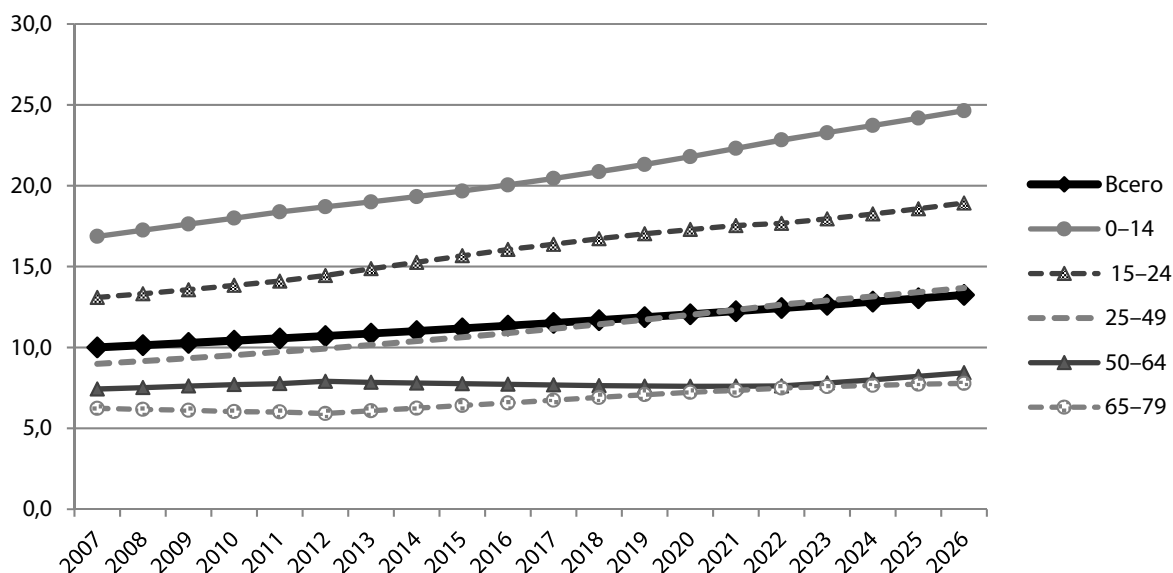


Рис. 6. Доли агентов традиционного типа по популяции агентов в целом и по основным возрастным группам, %

Таблица 2

Рост численности агентов традиционного типа и их значимости по популяции в целом и по отдельным возрастным группам

Возрастные группы	2007 год		2026 год		Рост доли за период, %
	Численность агентов	Доля в возрастной группе, %	Численность агентов	Доля в возрастной группе, %	
Вся популяция	10000	10,0	13202	13,2	3,2
0–14 лет	2659	16,9	3632	24,6	7,7
15–24 года	1636	13,1	1973	18,9	5,8
25–49 лет	3292	9,0	4107	13,7	4,7
50–64 года	1357	7,4	1811	8,4	1,0
Старше 64 лет	1056	6,3	1679	7,3	1,0

чая его половозрастную и социальную структуру, так и динамику основных характеристик этого населения.

По нашему мнению, с использованием представленной модели уже сейчас можно

проводить исследования динамики численности и структуры населения реально существующих регионов, подготовив для этого необходимую исходную информацию.

### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 14-18-01968).

### Список источников

1. Вишневский А. Г. Воспроизводство населения и общество. История, современность, взгляд в будущее. — М. : Финансы и статистика, 1982. — 287 с.
2. Макаров В. Л., Бахтизин А. Р. Социальное моделирование — новый компьютерный прорыв. Агент-ориентированные модели. — М. : Экономика, 2013. — 295 с.
3. Trajkovski G., Collins S. G. (Eds.). (2009). Handbook of Research on Agent-Based Societies: Social and Cultural Interactions. New York, NY: Information Science Reference Hershey, — 412.
4. Silverman E., Bijak J., Hilton J., Cao V. D., Noble J. (2013). When Demography Met Social Simulation: A Tale of Two Modelling Approaches, Journal of Artificial Societies and Social Simulation (JASSS), Volume 16 (4), Article 9, URL: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/16/4/9.html>.
5. Billari F. C., Prskawetz A., Diaz B. A., Fent T. (2007). The “Wedding-Ring”: An agent-based marriage model based on social interaction. Demographic Research, Volume 17, Article 3, 59-82.
6. Diaz B. A. (2010). Agent-Based Models on Social Interaction and Demographic Behaviour (Ph.D. Thesis). Wien: Technische Universität, — 85.
7. Stillwell J., Clarke M. (Eds.). (2011). Population Dynamics and Projection Methods, Understanding Population Trends and Processes — Volume 4, — 222. DOI 10.1007/978-90-481-8930-4.

8. Heiland F. (2003). The Collapse of the Berlin Wall: Simulating State-Level East to West German Migration Patterns. In F.C. Billari & A. Prskawetz (Eds.), *Agent-Based Computational Demography* (pp. 73-96). Heidelberg: Springer.
9. Billari F.C., Prskawetz A. (Eds.). (2003). *Agent-Based Computational Demography: Using Simulation to Improve Our Understanding of Demographic Behaviour*. Heidelberg: Springer, — 210.
10. Wu B.M., Birkin M.H. (2012). Agent-Based Extensions to a Spatial Microsimulation Model of Demographic Change. In A. J. Heppenstall et al. (Eds.), *Agent-Based Models of Geographical Systems* (pp. 347-360), DOI 10.1007/978-90-481-8927-4-16.
11. Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д. Моделирование демографических процессов с использованием агент-ориентированного подхода // *Федерализм*. — 2014. — №4. — С. 37-46.
12. Родители и дети, мужчины и женщины в семье и обществе / Под науч. ред. Т. М. Малевой, О. В. Синявской; Независимый институт социальной политики. — М.: НИСИП, 2007. — 640 с.
13. Шубат О. М., Багирова А. П. Прогнозирование вторых рождений у российских женщин. Социолого-статистический подход // *Проблемы прогнозирования*. — 2014. — №3. — С. 131-140.
14. Тарасов В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям. *Философия, психология, информатика*. — М.: Эдиториал УРСС, 2002. — 352 с.
15. Бахметова Г. Ш. Методы демографического прогнозирования. — М.: Финансы и статистика, 1982. — 159 с.
16. Шахотько Л. П., Терещенко С. М. Компьютерное решение задачи построения демографических прогнозов // *Вопросы статистики*. — 1999. — №10. — С. 57-65.

### Информация об авторах

**Макаров Валерий Леонидович** — доктор физико-математических наук, академик РАН, академик-секретарь Отделения общественных наук РАН, директор, Центральный экономико-математический институт РАН (Российская Федерация, 117418, г. Москва, Нахимовский пр., 47. Центральный экономико-математический институт РАН; e-mail: makarov@cemi.rssi.ru).

**Бахтизин Альберт Рауфович** — доктор экономических наук, профессор, заведующий лабораторией, Центральный экономико-математический институт РАН (Российская Федерация, 117418, г. Москва, Нахимовский проспект 47; e-mail: albert.bakhtizin@gmail.com).

**Сушко Елена Давыдовна** — кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник, Центральный экономико-математический институт РАН (Российская Федерация, 127474, Москва, г. Москва, Нахимовский проспект 47; e-mail: sushko\_e@mail.ru).

For citation: *Ekonomika regiona [Economy of Region]*. — 2015. — №3. — pp. 312-322

**V. L. Makarov, A. R. Bakhtizin, E. D. Sushko**

### Simulating the Reproductive Behavior of a Region's Population with an Agent-Based Model

*The research analyses the impact of the inequality of demographic transition on socio-demographic characteristics of the regional population and on the dynamics of these characteristics. The study was conducted with the help of computer-based experiments (simulations), which was run on the original agent-based model. The model is an artificial society, and personal characteristics of its members are set so that they could represent age-demographic structure of a simulate region. The agents are divided into two subgroups, which differ in their reproductive strategy. The first group has traditional strategy with high birth rate. The second group has considerably lower birth rate, observed in the modern developed societies.*

*The model uses stochastic approaches to imitate the principle processes of population growth: mortality and morbidity. Mortality is set according to age-sex specific mortality coefficients, which do not differ across the population as a whole. New agents (child births) appear as a choice of agents – women of reproductive age, and the choice depends on the subgroup. The overall age and social structure of the region is aggregated across individual agents.*

*A number of experiments has been carried out with the model utilization. This allowed forecasting the size and structure of the population of a given region. The results of the experiments have revealed that despite its simplicity, the developed agent-based model well predicts the initial conditions in the region (e.g. age-demographic and social structure). The model shows good fit in terms of estimating the dynamics of major characteristics of the population.*

**Keywords:** agent-based modelling, demography, types of population reproduction, forecasting of population size and structure of the region

### Acknowledgement

*The research has been supported by the Russian Science Foundation (Project № 14-18-01968).*

### References

1. Vishnevskiy, A. G. (1982). *Vosproizvodstvo naseleniya i obshchestvo. Istoriya, sovremennost, vzglyad v budushcheye [Reproduction of the population and society. History, present, prospect]*. Moscow: Finansy i statistika Publ., 287.
2. Makarov, V. L. & Bakhtizin, A. R. (2013). *Sotsialnoye modelirovanie — novyy kompyuternyy proryv. Agent-orientirovannyye modeli [Social modeling — new computer break. The agent-based models]*. Moscow: Ekonomika Publ., 295.
3. Trajkovski, G. & Collins, S. G. (Eds.). (2009). *Handbook of Research on Agent-Based Societies: Social and Cultural Interactions*. New York, NY: Information Science Reference Hershey, 412.
4. Silverman, E., Bijak, J., Hilton, J., Cao, V. D. & Noble, J. (2013). When Demography Met Social Simulation: A Tale of Two Modelling Approaches. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation (JASSS)*, 16 (4). Available at: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/16/4/9.html>.

5. Billari, F. C., Prskawetz, A., Diaz, B. A. & Fent, T. (2007). The “Wedding-Ring”: An agent-based marriage model based on social interaction. *Demographic Research*, 17, 59-82.
6. Diaz, B. A. (2010). *Agent-Based Models on Social Interaction and Demographic Behaviour (Ph.D. Thesis)*. Wien: Technische Universität, 85.
7. Stillwell, J. & Clarke, M. (Eds). (2011). Population Dynamics and Projection Methods. *Understanding Population Trends and Processes*, 4, 222. DOI 10.1007/978-90-481-8930-4.
8. Heiland, F. (2003). The Collapse of the Berlin Wall: Simulating State-Level East to West German Migration Patterns. In: F.C. Billari & A. Prskawetz (Eds). *Agent-Based Computational Demography*, 73-96. Heidelberg: Springer.
9. Billari, F. C. & Prskawetz, A. (Eds). (2003). *Agent-Based Computational Demography: Using Simulation to Improve Our Understanding of Demographic Behaviour*. Heidelberg: Springer, 210.
10. Wu, B. M. & Birkin, M. H. (2012). Agent-Based Extensions to a Spatial Microsimulation Model of Demographic Change. In: A. J. Heppenstall et al. (Eds). *Agent-Based Models of Geographical Systems*, 347-360, DOI 10.1007/978-90-481-8927-4-16.
11. Makarov, V. L., Bakhtizin, A. R. & Sushko, E. D. (2014). Modelirovanie demograficheskikh protsessov s ispolzovaniem agent-orientirovannogo podkhoda [Modeling of demographic processes with the agent-based approach]. *Federalizm [Federalism]*, 4, 37-46.
12. Maleva, T. M. & Sinyavskaya, O. V. (Eds). *Roditeli i deti, muzhchiny i zhenshchiny v semye i obshchestve [Parents and children, men and women in a family and society]*. Nezavisimyy institut sotsialnoy politiki [Independent Institute for Social Policy]. Moscow: NISP Publ., 640.
13. Shubat, O. M. & Bagirova, A. P. (2014). Prognozirovaniye vtorykh rozhdeniy u rossiyskikh zhenshchin: sotsiologo-statisticheskii podkhod [Second birth forecasting for the Russian women: sociology and statistical approach]. *Problemy prognozirovaniya [Forecasting problems]*, 3, 131-140.
14. Tarasov, V. B. (2002). *Ot mnogoagentnykh sistem k intellektualnym organizatsiyam: filosofiya, psikhologiya, informatika [From the many-agents' systems to the intellectual organizations: philosophy, psychology, informatics]*. Moscow: Editorial URSS Publ., 352.
15. Bakhmetova, G. Sh. (1982). *Metody demograficheskogo prognozirovaniya [Methods of demographic forecasting]*. Moscow: Finansy i statistika Publ., 159.
16. Shakhotko, L. P. & Tereshchenko, S. M. (1999). Kompyuternoye reshenie zadachi postroeniya demograficheskikh prognozov [Computer solution for demographic forecasts development]. *Voprosy statistiki [Questions of statistics]*, 10, 57-65.

### Authors

**Makarov Valeriy Leonidovich** — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Member of RAS, Head of the Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences (47, Nakhimovsky Ave., Moscow, 117418, Russian Federation; e-mail: makarov@cemi.rssi.ru).

**Bakhtizin Albert Raufovich** — Doctor of Economics, Professor, Head of Laboratory, Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences (47, Nakhimovsky Ave., Moscow, 117418, Russian Federation; e-mail: albert.bakhtizin@gmail.com).

**Sushko Elena Davidovna** — PhD in Economics, Leading Research Associate, Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences (47, Nakhimovsky Ave., Moscow, 117418, Russian Federation; e-mail: sushko\_e@mail.ru).