

---

---

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ  
ПРОБЛЕМЫ

---

---

ИСКУССТВЕННОЕ ОБЩЕСТВО И РЕАЛЬНЫЕ  
ДЕМОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ\*

© 2017 г. В.Л. Макаров<sup>1</sup>, А.Р. Бахтизин<sup>2</sup>, Е.Д. Сушко<sup>3</sup>, А.Ф. Агеева<sup>4</sup>

**Аннотация.** В работе показано применение агент-ориентированного подхода при моделировании естественного движения населения. Приводится обзор наиболее характерных демографических агент-ориентированных моделей (АОМ), разработанных за последние годы. Представлена демографическая модель Евросоюза, в которой на основе поведения отдельных членов искусственного общества имитируются процессы смертности, рождаемости и миграции. Так, создание новых агентов (рождение детей) в модели является результатом выбора агентов-женщин репродуктивного возраста, и этот выбор зависит от их внутренних установок. При этом популяция агентов в этом отношении неоднородна – часть агентов придерживается современной репродуктивной стратегии (с низкой рождаемостью), а часть – традиционной (с высокой рождаемостью). Миграция агентов обусловлена разницей в уровне среднедушевых доходов между различными странами. Показаны результаты экспериментов, проведенных с использованием модели.

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

**Классификация JEL:** J11, F22, C63, C88.

## 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Развитие современных методов моделирования поведения больших социально-экономических систем направлено преимущественно в сторону создания их искусственных аналогов и имитации происходящих в них процессов, для чего все чаще используется особый вид имитационного моделирования, а именно – агент-ориентированное (Макаров, Бахтизин, 2013). Агент-ориентированный подход состоит в построении системы «снизу вверх», базирующемся на описании в модели поведения самостоятельных агентов, обладающих набором индивидуальных свойств, а также условий существования этих агентов (факторов среды) и правил поведения, которым агенты подчиняются. В агент-ориентированной модели (АОМ) могут создаваться целые популяции агентов одного типа, различающихся при этом конкретными значениями индивидуальных характеристик, тогда модель становится мультиагентной. Выстроенный таким образом вычислительный инструмент позволяет воссоздать в мультиагентной системе (МАС) как сложную структуру реально существующего общества с учетом разнообразия его членов, так и комплекс законов и правил поведения, составляющих институциональную среду, в которой живут члены этого общества. Причем современные возможности вычислительной техники позволяют не только создавать достаточно реалистичные образцы интенциональных и интеллектуальных агентов, т.е. агентов, обладающих внутренней мотивацией, памятью, процедурами принятия решений (Тарасов, 2002), но и доводить численность популяции таких агентов в МАС до численности населения моделируемого общества. А это уже позволяет получить в искусственной среде аналог реального общества, который может служить полигоном для постановки разнообразных компьютерных экспериментов – от оценки возможной реакции всего общества в целом

---

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

<sup>1</sup> Валерий Леонидович Макаров – директор ЦЭМИ РАН, академик РАН, makarov@cemi.rssi.ru.

<sup>2</sup> Альберт Рауфович Бахтизин – член-корреспондент РАН, доктор экон. наук, зам. директора ЦЭМИ РАН, albert.bakhtizin@gmail.com.

<sup>3</sup> Елена Давидовна Сушко – кандидат экон. наук, ведущ. науч. сотрудник ЦЭМИ РАН, sushko\_e@mail.ru.

<sup>4</sup> Алина Фагимовна Агеева – кандидат архитектуры, ведущий инженер ЦЭМИ РАН, ageevaalina@yandex.ru.

и отдельных его групп на изменения внешней среды до апробации реакции на планируемые управляющие воздействия.

Еще до создания инструмента АОМ исследовались популяции агентов, способных переходить из одного сообщества (муниципалитета, региона, страны) в другое по исключительно экономическим причинам. Чарльз Тибу в своей основополагающей работе (Tiebout, 1956) рассматривал голосование ногами, когда мотивом агента было стремление минимизировать налоги на доход и недвижимость. Математики показали, что в модели Тибу существует равновесие, которое оказывается наилучшим для популяции в целом.

В настоящем разделе проводится обзор работ, в которых моделируется движение населения из одного региона в другой при учете многих, не только экономических, факторов. При этом упор делается на динамику процесса, а не на равновесие.

Классическим примером массовых социально-экономических процессов, в которых каждый участник может действовать самостоятельно под влиянием своих интересов и в соответствии со своими возможностями (ограниченными как личностными характеристиками, так и свойствами среды), следует признать демографические процессы. К тому же в условиях ускоренной глобализации все более актуальным становится новое переосмысление репродуктивных и миграционных процессов с целью выработки адекватной современным вызовам политики и соответствующих мер регулирования. Неслучайно поэтому в литературе можно найти описания многочисленных мультиагентных систем, посвященных рассмотрению поведения разнообразных аспектов основных демографических процессов. Например, в книге (Billari, Prskawetz, 2003) представлены АОМ, посвященные имитации множества процессов, связанных с естественным движением населения – начиная от образования семейных пар и влияния социальных норм на рождаемость и до решений людей изменить место жительства.

Рассмотрим наиболее характерные демографические АОМ, разработанные за рубежом за последние годы.

В работе «Агент-ориентированная модель заключения брака» (Billari et al., 2007) 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, уже заключивших брак, в общем числе агентов. Продолжением предыдущего исследования является работа «Агент-ориентированное моделирование социальных взаимодействий и демографического поведения» (Diaz, 2010), в которой описаны три АОМ, рассматривающие различные составляющие демографической системы, в частности процесс заключения браков, динамика рождаемости и др. В работе исследуются в том числе различия в поведении людей, связанные с их принадлежностью к разным типам культур, которые вызваны неравномерностью процессов демографического перехода<sup>5</sup> в разных странах.

В статье «Демография и социальное моделирование: история двух подходов к моделированию» (Silverman et al., 2013) рассматривается АОМ популяции людей, разработанная для демонстрации потенциальной синергии от применения агентного подхода к исследованию демографических процессов. Агенты в модели имеют сложную структуру с большим числом состояний, а прогноз демографической динамики, именно благодаря детализации до отдельных членов общества, возможен на различных уровнях – от домашних хозяйств до всего населения Великобритании. В статье «Искусственные модели популяций: соединение демографии с агентным моделированием» (Silverman et al., 2014) авторы подробно описали конструкцию демографической модели, проведенные с использованием модели эксперименты и полученные результаты.

В книге «Динамика численности населения и проекционные методы» (Stillwell, Clarke, 2011) исследуется широкий спектр демографических проблем Западной Европы, связанных со старением населения, увеличением числа разводов, снижением числа заключенных браков, ростом

<sup>5</sup> Смена типов воспроизводства населения в процессе перехода от традиционного общества, для которого характерны высокая смертность и высокая рождаемость, к современному – с низкой смертностью и низкой же рождаемостью (Вишневский, 1982).

числа мигрантов и т.д. Для исследования этих процессов, взаимосвязанных с экономической ситуацией, а также с положением в странах – донорах миграции, применяются агентные модели.

Следует заметить, что именно имитации и исследованию таких различных миграционных процессов, как миграция внутрирегиональная, межстрановая, трудовая и т.д., посвящено наибольшее число известных демографических АОМ. При этом в большинстве этих моделей в качестве побудительных мотивов миграции агентов рассматриваются экономические причины, а ограничения перемещений агентов являются параметры рынка труда на той территории, куда агенты стремятся мигрировать.

Например, в работе «Падение Берлинской стены: моделирование миграции между Западной и Восточной частями Германии» (Heiland, 2003) предлагается модель, объясняющая наблюдаемые с 1989 г. миграционные потоки из Восточной Германии в Западную. Агенты в модели представляют людей из пяти восточногерманских земель, принимающих решение о миграции в зависимости от посылаемых на макроуровне сигналов (уровень безработицы, разница в доходах на западе и востоке Германии и др.). Расчеты показали, что географическая близость и спрос на квалифицированный труд являются основными факторами объема миграции.

Рассмотрению межстрановой трудовой миграции посвящена модель, представленная в работе «Агент-ориентированная модель динамики населения европейских стран» (Pablo-Martí, Santos, Kaszowska, 2015). Данная АОМ имитирует миграционные потоки внутри европейских стран, вплоть до локальных территориально-административных единиц (уровень областной и локальной миграции), а также региональные рынки труда с особой детализацией их специфики (типы вакансий, предпочтения работодателей и т.п.). В модели учитывается уровень удовлетворенности людей своим трудовым статусом и уровнем доходов, и в зависимости от данного показателя в модели имитируется решение агентов о переезде. Выбор целевого региона агенты осуществляют с учетом разницы между экономическими показателями регионов и доли (процентом) в них безработных, а также расстояния между регионами.

Значительная часть АОМ, посвященных миграции из села в город, являются воплощением классической модели Харриса–Тодаро (Harris, Todaro, 1970), в которой изучались такие ключевые факторы, как экономические стимулы, разница доходов сельских и городских жителей и возможность найти работу в определенной территориальной близости. Аграрно-урбанизированная миграция рассматривалась в конечном итоге как причина переуплотнения городского населения и увеличения доли безработных среди городских жителей. Здесь можно упомянуть работу (Espíndola, Silveira, Penna, 2006), в которой миграция рабочих интерпретируется как процесс социального обучения путем подражания и для которой результаты, полученные первоначально Харрисом и Тодаро, трактуются как эмерджентные свойства разработанной авторами модели.

К этому же направлению принадлежит работа (Laing, Park, Wang, 2005), в которой применительно к Китаю рассматриваются такие последствия неравномерного регионального развития страны, как отток сельского населения в города, увеличение численности нелегальных городских работников и рост безработицы в городах. В работе созданы модели городского и сельского рынков труда, а также популяция агентов, находящихся в поиске работы. В ходе компьютерных экспериментов авторами менялись количественные параметры модели, являющиеся ключевыми факторами в модели Харриса–Тодаро. Результаты экспериментов показали, что меры, направленные на ужесточение исполнения закона о прописке (в том числе путем введения штрафов для нелегальных работников и фирм-нанимателей), в конечном счете будут способствовать сдерживанию потока мигрантов из села.

Еще одним многочисленным классом АОМ являются такие, в которых причинами миграции агентов-людей из села в город выступают природные экологические или климатические условия. Чаще всего эти модели разрабатывались как инструменты апробации специальной политики поддержки населения, занятого в аграрном секторе, для сдерживания оттока населения из села, уменьшения показателей сезонной миграции и нагрузки на городской рынок труда. В качестве примера можно привести два исследования, которые касались изучения специфики организации трудовой жизни сельского населения небольших азиатских стран – Таиланда и Непала,

которые зависят от региональных климатических условий (сезонов дождей) и от слабого развития инженерной инфраструктуры.

Первая – работа «Агент-ориентированная модель имитации рисового производства и трудовой миграции в северо-восточном регионе Таиланда» (Naivinit et al., 2010). Проблема крайне важна для этого региона, так как его сельское население страдает от сложных климатических условий, характеризующихся полугодовым сезоном засухи и низкими показателями плодородия почвы, что позволяет получать единственный урожай в год, поэтому миграция здесь является способом выживания.

Вторая работа – «Инвестирование в водохранилища: изучение проблемы с помощью компьютерной имитации» (Janmaat et al., 2015). В данной модели воспроизводится комплекс взаимосвязей объектов социально-эколого-экономической системы региона с акцентом на трех ключевых параметрах: миграции населения, социальном капитале (человеческие взаимоотношения и нормы поведения, облегчающие коллективную деятельность) и системе хранения воды, реконструкция которой могла бы повысить урожайность в засушливый период года, а значит, и уровне жизни сельского населения. Авторы апробировали несколько возможных вариантов инвестирования в регион, которые включают комбинацию следующих мер: строительство систем долговременного и/или кратковременного хранения воды, прокладка новых магистралей питьевой воды, реконструкция существующих систем водохранилищ, прямые выплаты (субсидии) домохозяйствам.

Среди представленных различными исследователями АОМ можно найти и такие, которые посвящены не столь массовым и достаточно специфичным миграционным процессам. Так, в работе «Агент-ориентированное расширение пространственной микросимуляционной модели демографических изменений» (Wu, Birkin, 2012) описано моделирование миграции студентов, выбирающих на каждом этапе обучения учебные заведения, расположенные в разных районах страны, а в период обучения выбирающих место жительства (кампус или съемное жилье в городе).

Особый интерес для нас представляли МАС, в которых миграция агентов-людей вызывает опасными событиями. Остановимся на примерах типичных работ этого класса. Так, в работе «Имитация перемещений беженцев» (Groen, 2016) воспроизводится картина движения населения в районе Северного Мали, где в январе 2012 г. начали происходить военные столкновения. В представленной МАС приводятся характеристики изучаемой местности с населенными пунктами и расположенными на ней лагерями беженцев, примыкающими к транспортным магистралям. В модели учитывается, через сколько дней после начала конфликта соседние страны открывали свои границы для беженцев. Полученные в ходе экспериментов результаты автор сравнил с официальными данными по числу беженцев в каждом лагере. Модель предназначена для прогнозирования потоков беженцев в зависимости от того, открывают ли соседние страны свои границы для беженцев, и если да, то в какие сроки, а также для разработки соответствующих планов эвакуации населения.

В статье «Моделирование движения населения в сирийском городе Алеппо» (Sokolowski, Banks, Nayes, 2014) авторы представили компьютерную имитацию военного конфликта в Сирии для анализа и прогнозирования процессов миграции беженцев, в которой воспроизводятся миграционные движения населения, происходившие в 2013 г. В модели учитываются такие свойства агентов-жителей страны, как их принадлежность к различным религиозным конфессиям и различным противоборствующим в конфликте группировкам, а также факторы внешней среды. Так, факторами, побуждающими агентов к переезду, являются в модели:

- а) социальные (дискриминация – расовая, национальная, религиозная; нарушение прав человека и т.п.);
- б) экономические (безработица, низкий уровень жизни, коррупция и др.);
- в) побуждающие к миграции события, а именно рост напряжения ситуации в регионе, новые пострадавшие и др.

Важно отметить, что в модели учитываются такие свойства агентов-людей, как наличие миграционного опыта и социальных связей за пределами страны. Таким образом, на поведение

агентов в модели в явном виде влияют не только факторы среды, побуждающие их к миграции, но и те взаимодействия агентов между собой, которые способствуют реализации их миграционных намерений.

Эту тему продолжают МАС, в которых важную роль играют социальные сети. Здесь следует упомянуть работу «Модель принятия решения о миграции, встроенная в жизненный путь» (Klabunde et al., 2015). Концепция модели создана на основе реальных данных, объединяющих информацию о биографиях более 12 тысяч сенегальцев, эмигрировавших во Францию, Италию и Испанию, а также их семьях, оставшихся в Сенегале или переехавших с ними. В модели используется набор демографических и экономических данных, но особое внимание сфокусировано на моменте принятия отдельным агентом решения о переезде. Так, кроме уже привычных экономических и институциональных параметров среды (например, уровня доходов и степени сложности пересечения границы и переезда в другую страну), в модели учитываются также социальные связи агентов с эмигрировавшими ранее согражданами. Авторы разработки преследовали цель создать МАС, на основе которой можно прогнозировать время начала и пункты назначения миграционных движений. В этой же связи можно упомянуть и работу «Экономическое моделирование миграционных потоков» (Klabunde, 2014), хотя и посвященную моделированию процессов миграции другого типа – международной временной или сезонной, но также акцентирующей внимание на роли социальных связей агентов в принятии ими решений о переезде и в реализации этого решения. При построении конструкции этой модели использовались результаты масштабного исследования миграции из Мексики в США<sup>6</sup>. В ходе исследования было выявлено, что основная масса мигрирующих – выходцы из четырех мексиканских областей и конечным пунктом их переезда в США являются всего несколько городов, в которых, как правило, находятся их родственники или друзья. Опыт и навыки, полученные во время каждого переезда, облегчают последующие, так как в каждый новый приезд мигранты увеличивают число социальных контактов, что упрощает поиск работы при следующей попытке.

Подводя итог нашего краткого обзора МАС, разработанных за последнее время для моделирования основных демографических процессов, отметим, что каждая из них создавалась для анализа особенностей населения конкретных территорий и прогнозирования их изменения при ожидаемых (или планируемых) сценариях развития социально-экономической среды. Поэтому и внимание разработчиков фокусировалось на характерных для этих территорий ситуациях. Тем не менее в конструкциях этих моделей можно выделить основные элементы, призванные обеспечивать адекватную имитацию демографических процессов.

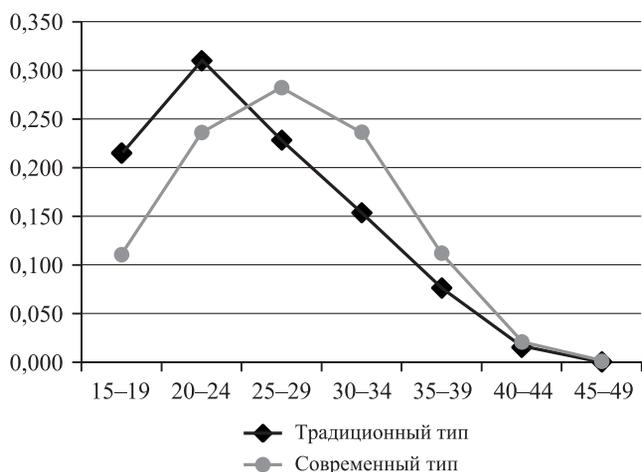
Для описания среды это были показатели, характеризующие экономические, экологические, институциональные, а также связанные с безопасностью факторы, которые влияют на показатели смертности населения, репродуктивные стратегии агентов, а также побуждают агентов изменить место жительства и способствуют (или препятствуют) осуществлению миграционных решений агентов.

Агенты при этом наделяются соответствующими свойствами, позволяющими дифференцировать их относительно целевых групп, на которые влияют различные факторы среды. А кроме того, агенты должны обладать внутренними процедурами, которые позволяют им выводить необходимость и возможность совершения таких действий, как рождение ребенка или переезд в другую юрисдикцию (внутри собственной страны или за ее пределами), исходя из индивидуальных характеристик и свойств среды.

## 2. ОПИСАНИЕ ИДЕОЛОГИИ И КОНСТРУКЦИИ МОДЕЛИ ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЕС

Концепция создаваемой в ЦЭМИ РАН агент-ориентированной демографической модели опирается на максимально приближенную к реальности имитацию поведения людей, исходя из их внутренних установок, обуславливающих как репродуктивные стратегии агентов-людей

<sup>6</sup> Mexican Migration Project (MMP) – Мексиканское исследование миграции (<http://mmp.opr.princeton.edu/>).



**Рис. 1.** Доли от общей численности новорожденных для матерей из разных возрастных групп

том его неоднородности, и различные миграционные процессы, для чего в первую очередь потребовалось избрать объект моделирования. Таким объектом стал Европейский союз, в который входит ряд стран (в настоящее время 28), неоднородных с точки зрения демографических, социальных и экономических показателей. При этом внутри ЕС допускается свободное передвижение трудовых ресурсов. Выбор ЕС в качестве объекта моделирования позволяет рассмотреть следующие процессы и их последствия как для ЕС в целом, так и для каждой страны в отдельности:

- естественное движение (смертность и рождаемость) постоянного населения;
- миграцию внутри стран ЕС – отдельно – трудовую временную миграцию и миграцию, связанную со сменой постоянного места жительства и (возможно) гражданства;
- миграционный приток извне Евросоюза.

Рассмотрим механизмы имитации каждого указанного процесса.

Во-первых, процессы репродукции. Агенты в модели разделены на две группы (типа), различающиеся репродуктивными стратегиями: агенты первого типа придерживаются традиционной стратегии, для которой характерна высокая рождаемость, а агенты второго типа – современной, при которой рождаемость существенно ниже. На территории каждой из стран ЕС могут проживать агенты обоих типов с разными показателями рождаемости, но показатели смертности для них полагаются одинаковыми. Причем мы используем суммарный коэффициент рождаемости, т.е. среднее число детей, рождаемых женщиной на протяжении репродуктивного периода, что позволяет перенести фокус моделирования на уровень отдельных агентов. Кроме суммарного коэффициента рождаемости (СКР), типы воспроизводства различаются также распределением рождений детей на протяжении репродуктивного периода женщин, как показано на рис. 1. Из рисунка видно, что с переходом к современному типу воспроизводства происходит смещение пика рождений детей в интервале возраста матери 20–24 года к интервалу 25–29 лет. В модели на основе этих данных вероятностным образом определяются для каждого агента желаемое максимальное число детей, а также рассчитываются вероятности рождения детей для агентов-женщин разного возраста. Таким образом, эти характеристики зависят от внутренних установок агентов, связанных с принадлежностью к тому или иному типу.

Во-вторых, процессы миграции. Эти процессы подразделяются в модели на два вида, механизмы имитации которых в принципе различны: 1) миграция внутри Евросоюза, 2) иммиграция в страны ЕС извне. Первая имитируется на основе описания свойств агентов созданной в модели популяции жителей стран ЕС, свойств этих стран, которые могут побуждать агентов мигрировать и способствовать (или препятствовать) ее осуществлению, а также алгоритмов действий агентов с учетом их личностных свойств и параметров среды. Так, стимулом к переезду агента становится существенная разница между странами в уровне экономического благополучия и уровне социальной поддержки,

в модели, так и выбор ими места жительства. При этом такие показатели естественного движения населения, как рождаемость и миграция, получаются в модели в результате агрегирования действий отдельных агентов популяции. В предыдущих работах мы подробно рассмотрели процессы изменения структуры населения, связанные с неравномерностью перехода к современному типу воспроизводства отдельных групп населения в пределах одного региона (Макаров, Бахтизин, Сушко, 2015), а также в случае деления территории региона на условные кварталы (Макаров и др., 2016). Миграция в наших моделях ранее не рассматривалась.

Разрабатывая новую МАС, мы ставили перед собой задачу имитировать в одной модели и процессы воспроизводства населения с учетом его неоднородности, и различные миграционные процессы, для чего в первую очередь потребо-

а сдерживающим фактором – уровень доступности вакансий, соответствующих уровню притязаний агента, в той стране, которую он выбрал в качестве цели переезда. Под уровнем притязаний понимается набор желательных для агента значений параметров:

а) гражданский статус (возможные варианты: нелегал, беженец, вид на жительство, гражданство);

б) статус работника (неквалифицированный работник, квалифицированный и высококвалифицированный);

в) уровень заработка;

г) уровень полагающейся социальной поддержки.

Миграция второго вида не подчиняется этой логике, поскольку агенты за пределами ЕС в модели не учитываются. Вместо этого задаются параметры миграционного потока в каждый момент времени, а затем уже в нужном числе создаются агенты с заданными свойствами.

Кроме того, мигранты в модели делятся на категории в зависимости от того, что послужило стимулом сменить место жительства – соображения безопасности или стремление повысить уровень своего благополучия. Каждой категории мигрантов соответствует свой набор значений вектора уровня притязаний, а значит, при выборе страны – цели миграции, а также времени переезда, агенты руководствуются разными приоритетами. Например, если агент находится в зоне конфликта, то ему присваивается категория беженца, и он вправе рассчитывать на социальное пособие. Поэтому он будет выбирать страну, в которой пособие выше и путь в которую ему открыт на текущем шаге работы модели. При этом агент не принимает в расчет рынок труда. Если же агент обладает высшим образованием и относительно высоким уровнем дохода в своей стране, то на новом месте он будет требовать не только более высокого заработка, но и, как минимум, сохранения своего статуса. В противном случае он никуда не переезжает.

### 3. РЕАЛИЗАЦИЯ ДЕМОГРАФИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЕС

Рассмотрим теперь, как это реализовано в разработанной нами в среде AnyLogic<sup>7</sup> демографической модели Евросоюза, общая схема работы которой показана на рис. 2. В начале работы модели из внешней базы данных вводится массив исходной информации, необходимой для спецификации агентов и организации их среды. Важно отметить, что вся эта информация находится в открытом доступе на официальном сайте Европейской комиссии в разделе статистики Евростат<sup>8</sup>.

Далее устанавливается стартовое состояние среды и создается популяция агентов, личностные характеристики которых с помощью вероятностных распределений присваиваются таким образом, чтобы воспроизвести заданную половозрастную и социальную структуру населения моделируемых стран.

#### 3.1. Характеристики агентов и их среды

##### **Агенты:**

– пол;

– возраст;

– уровень образования;

– страна – место рождения;

– страна – место регистрации (гражданства);

– страна – место жительства;

<sup>7</sup> AnyLogic – инструмент имитационного моделирования, который поддерживает все подходы к созданию имитационных моделей, в том числе и агентный. Более подробно: <http://www.anylogic.ru>.

<sup>8</sup> Официальный сайт Европейской комиссии, раздел статистики (<http://ec.europa.eu/eurostat>).

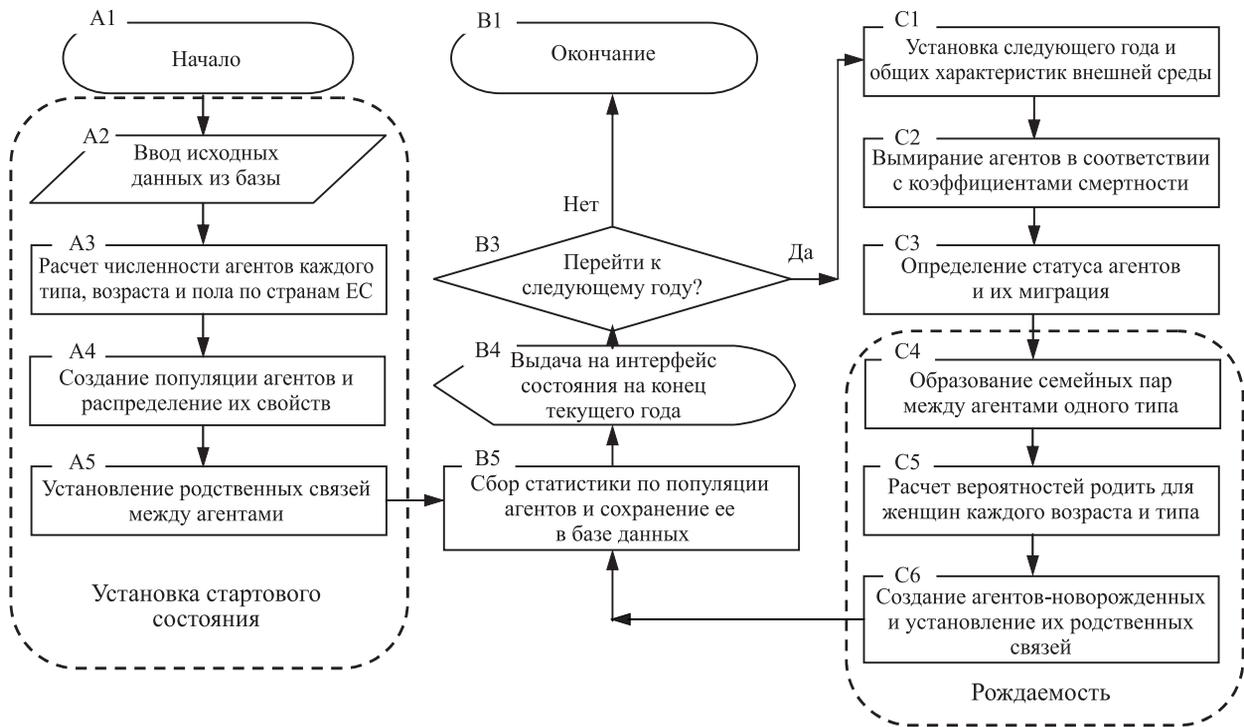


Рис. 2. Общая схема работы демографической модели ЕС

- срок пребывания по месту жительства;
- социальный статус в стране пребывания;
- доход;
- тип репродуктивного поведения;
- максимальное (желаемое) число детей;
- фактическое число детей;
- семейные связи (агенты – ближайшие родственники);
- текущий уровень притязаний (см. выше);
- процедура поиска партнера;
- процедура рождения ребенка;
- процедура определения текущего уровня притязаний;
- процедура, реализующая миграцию.

#### Страны:

- общая численность популяции агентов;
- ВВП на душу населения;
- открытость границ;
- прожиточный минимум;
- размер социального пособия;
- средняя заработная плата для работников разного уровня образования;
- условия натурализации агентов разных категорий (время нахождения в стране);
- доля агентов традиционного типа;

- половозрастная структура популяции агентов;
- доля агентов традиционного типа в каждой возрастной когорте;
- коэффициенты смертности, дифференцированные по полу и возрасту;
- суммарные коэффициенты рождаемости для двух типов агентов;
- параметры распределений, с помощью которых случайным образом определяется желаемое число детей для агентов каждого типа;
- распределение рождений по возрасту матери для двух типов агентов;
- процедура выбывания агентов. Просматриваются все агенты популяции, и для каждого вероятностным образом решается вопрос о его сохранении / уничтожении, а в качестве вероятности выбывания агента используются коэффициенты смертности, дифференцированные по полу и возрасту. Оставшиеся агенты становятся на год старше;
- процедура воспроизводства агентов. Просматриваются все агенты популяции, одинокие агенты репродуктивного возраста пытаются найти пару, для чего они взаимодействуют между собой в процессе согласования числа желаемых общих детей (Макаров, Бахтизин, Сушко, 2015). Далее уже «семейные пары» агентов вероятностным образом решают вопрос о рождении каждого агента-ребенка. Вероятности родить для агентов-женщин каждого возраста и типа рассчитываются исходя из суммарного коэффициента рождаемости, численности агентов-женщин для каждой возрастной когорты в пределах репродуктивного возраста, а также распределения рождений по возрасту матерей;
- процедура сбора статистики по популяции агентов.

Далее на каждом шаге имитации (соответствующем одному году в реальной действительности) на основе использования метода передвижки возрастов и вероятностных механизмов имитируются процессы естественного движения населения региона — смертность, рождаемость и миграция. Миграция является следствием действий взрослых агентов, для которых на каждом шаге определяется их уровень притязаний и миграционный статус, а затем вызывается процедура, осуществляющая миграцию.

Модель представляет собой автономное приложение (является программой, работающей независимо от среды разработки, т.е. не требующей установки AnyLogic). Модель обладает интерфейсом пользователя, который не только демонстрирует результаты ее работы на каждом шаге имитации, но и позволяет пользователю в процессе диалога управлять ходом компьютерного эксперимента. Интерфейс модели, показанный на рис. 3, настроен на управление внешним по отношению к странам ЕС миграционным потоком для отслеживания распределения этого потока по конкретным странам в зависимости от различных условий. Таким образом, модель способна имитировать европейский миграционный кризис, который, без преувеличения, является самой острой темой на повестке парламентов стран, входящих в зону Шенгенского договора, и даже привел к односторонним мерам ряда стран с целью закрыть свои границы.

Соответственно, управляемыми параметрами модели являются:

- на уровне Евросоюза в целом — суммарный коэффициент рождаемости, дифференцированный по типам воспроизводства; мощность миграционного потока, его возрастно-половой состав, а также распределение предпочтений агентов при выборе страны—цели миграции для двух маршрутов, по которым попадает в Евросоюз основная масса внешних мигрантов — восточный и центральный средиземноморский маршруты;
- на уровне отдельных стран — открытость границ; срок пребывания иммигрантов.

На рис. 3 показано расположение в рабочем окне управляемых параметров модели, здесь же визуализированы результаты ее работы. На уровне ЕС в целом — это группировка стран на карте-схеме по ВВП на душу населения; направления миграционных потоков в виде стрелочек на той же карте, а также таблица, в которой наглядно представлена вовлеченность различных стран в процессы приема беженцев и предоставление им транзита по своей территории. На уровне конкретной страны, которую можно выбрать на карте щелчком мышки (в данном случае выбрана



Рис. 3. Интерфейс демографической модели ЕС. Главное рабочее окно

Германия), показаны численность постоянного населения, срок пребывания, а также возраст-половая пирамида ее населения.

С использованием прототипа модели были поставлены эксперименты по прогнозированию развития базового демографического процесса – естественного движения постоянного населения стран Евросоюза с учетом его неоднородности даже в пределах отдельных стран.

Покажем результаты экспериментов на примере Германии. Выбор этой страны отнюдь не случаен, ведь именно в Германии суммарный коэффициент рождаемости принимает минимальное для стран ЕС значение – 1,3 ребенка на 1 женщину. Очевидно, что такой уровень рождаемости фактически гарантирует снижение общей численности населения (депопуляцию), а также, с учетом увеличения продолжительности жизни, его старение. Это подтверждают результаты модельных экспериментов, которые оценивают снижение численности постоянного населения с базового 2012 и до 2031 г. на 8,16 млн человек. Депопуляция и старение населения видны на рис. 4; здесь можно заметить, что численность населения моложе 50 лет неуклонно снижалась на протяжении всего периода, а численность населения старше 65 лет возрастала.

В ходе компьютерных экспериментов варьируемым параметром являлся суммарный коэффициент рождаемости. Так, были проведены серии расчетов для значений не только 1,3, но и 1,5 (среднее значение по странам ЕС) и 2,1 ребенка на одну женщину. На рис. 5 показана динамика численности популяции агентов при соответствующих значениях этого параметра, а в табл. 1 приводится возрастная структура населения в базовом году и в конце периода прогнозирования для трех рассмотренных вариантов.

На рис. 5 видно, что повышение суммарного коэффициента рождаемости не приводит к сохранению численности населения на прежнем уровне, хотя и замедляет депопуляцию в целом. Так, в пересчете на реальную численность убыль населения Германии составила к концу прогнозного периода во втором варианте 6,71 млн, а в третьем – 4,72 млн человек по сравнению с базовым годом. В последнем случае, когда должно было бы наблюдаться простое воспроизводство населения, причина депопуляции кроется в структуре населения Германии, которая показана в возрастно-половой пирамиде на рис. 3, – в репродуктивный возраст постепенно вступают малочисленные возрастные когорты.

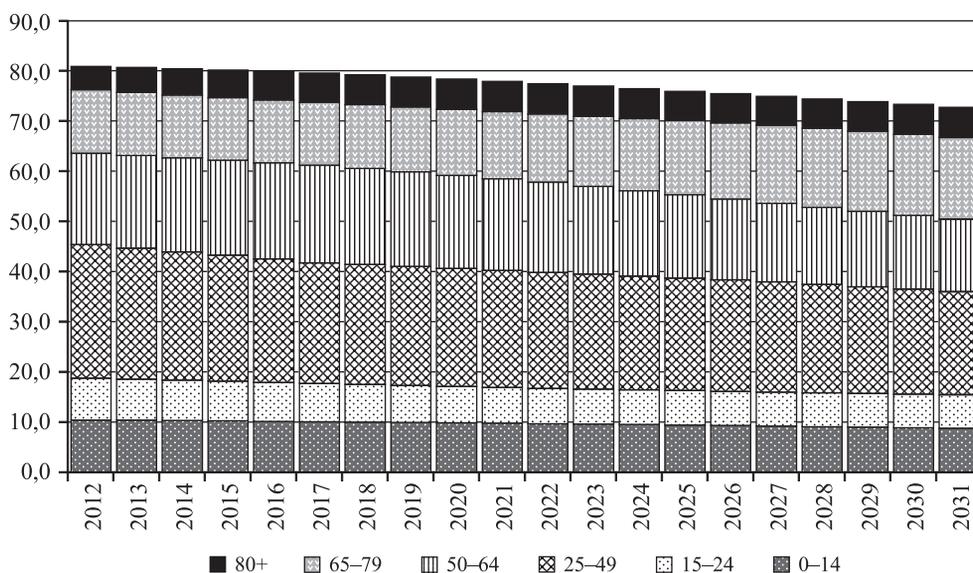


Рис. 4. Динамика возрастной структуры населения Германии, млн человек (суммарный коэффициент рождаемости равен 1,3)

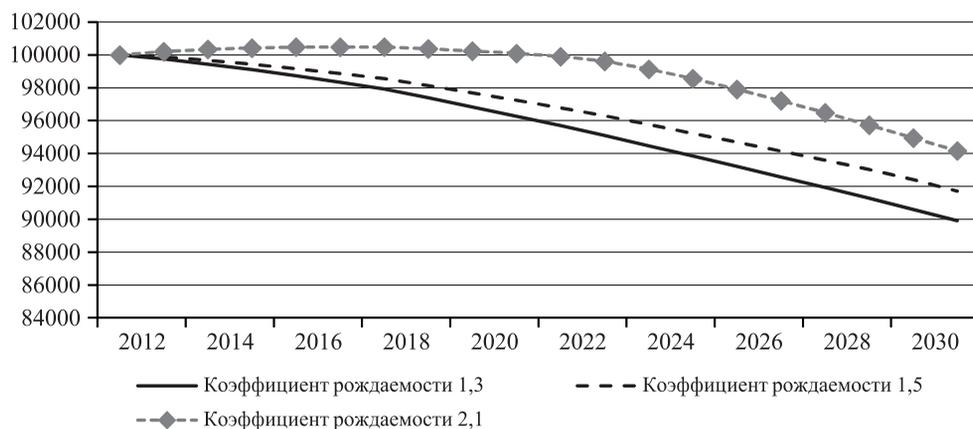


Рис. 5. Динамика численности популяции агентов при различных значениях суммарного коэффициента рождаемости

Что же касается возрастной структуры населения, то повышение суммарного коэффициента рождаемости приводит к ее заметному оздоровлению. Так, во втором варианте доля самой младшей возрастной группы увеличивается по сравнению с базовым годом на 0,5, а в третьем варианте — уже на 1,3 процентных пункта, что видно из данных табл. 1.

Следует заметить, что постоянное население Германии включает довольно значительные группы национальных меньшинств, крупнейшей из которых являются турки — около 3 млн человек. Причем репродуктивные стратегии у представителей этой части населения отличаются (так, суммарный коэффициент рождаемости равен 2,1 ребенка на одну женщину). Очевидно, что в таких условиях соотношение численности населения двух типов будет в разных возрастных группах неодинаковым. В проведенных экспериментах исследовался и этот аспект социальной структуры населения Германии, т.е. агенты традиционного типа в модели играли роль турецкой диаспоры. В связи с этим интересно проследить динамику доли агентов традиционного типа, показанную в табл. 2. Из приведенных в табл. 2 результатов моделирования видно, что при общем небольшом росте доли агентов этого типа за период моделирования эта доля заметно различается в разных возрастных группах — она тем выше, чем возрастная группа моложе. В табл. 2 также видно, что при заданной разнице в суммарном коэффициенте рождаемости у агентов двух типов доля агентов традиционного типа среди младших возрастных групп

**Таблица 1.** Изменения структуры населения Германии в разрезе возрастных групп при разных значениях СКР

Возрастные группы	Доля возрастной группы в общей численности населения Германии, %			
	2012 г.	2031 г.		
		СКР = 1,3	СКР = 1,5	СКР = 2,1
0–14 лет	12,8	12,0	13,3	14,1
15–24 года	10,3	9,2	9,5	10,6
25–49 лет	32,9	28,3	27,7	27,0
50–64 года	22,5	19,8	19,4	18,9
65–79 лет	15,6	22,5	22,1	21,5
Старше 80 лет	5,8	8,3	8,1	7,9
Всего	100,0	100,0	100,0	100,0

**Таблица 2.** Распределение доли населения традиционного типа по возрастным группам и по населению Германии в целом при разных значениях СКР

Возрастные группы	Доля агентов традиционного типа в возрастной группе, %			
	2012 г.	2031 г.		
		СКР = 1,3	СКР = 1,5	СКР = 2,1
0–14 лет	10,3	12,0	10,7	9,8
15–24 года	7,9	10,4	10,0	8,6
25–49 лет	5,0	8,1	8,1	8,1
50–64 года	3,0	5,1	5,1	5,1
65–79 лет	2,5	3,2	3,2	3,2
Старше 80 лет	2,3	2,5	2,5	2,5
Вся популяция	5,0	6,6	6,5	6,3

к концу периода, как и ожидалось, возрастает в первом варианте, значительно меньше возрастает во втором варианте, а в третьем варианте в самой младшей группе даже снижается.

Результаты апробации модели, на наш взгляд, продемонстрировали ее способность достаточно правдоподобно имитировать основные процессы воспроизводства населения стран Евросоюза. Модель может послужить основой имитации других социальных и экономических процессов, связанных с движением населения, таких, например, как изменение нагрузки на социальную сферу и/или возникновение социальной напряженности, вызванной неравномерностью экономического благополучия и неоднородностью населения.

Прототип модели был отлажен на обыкновенном персональном компьютере, оперативная память которого вместила 100 тыс. агентов, в то время как суммарная численность населения стран, входящих в ЕС, составила в базовом 2012 г. свыше 500 млн человек. Таким образом, в модели хотя и сохраняются пропорции представительства различных групп населения, но производится масштабирование его численности, и один агент фактически служит представителем 5000 человек. И если 80-миллионное население Германии представлено в модели примерно 16 тыс. агентов, то, например, на долю Мальты пришлось немногим более 84 агентов. Причем это – без учета агентов, представляющих миграционный приток извне ЕС. Очевидно, что имитация смертности или рождаемости, связанных с вероятностными распределениями, может оказаться некорректной на уровне отдельных стран с немногочисленным населением. В случае такого масштабного объекта моделирования естественным требованием к реализации модели становится существенное увеличение численности популяции агентов, а в идеале – доведение размеров популяции агентов до реальной численности населения Евросоюза. Решение этой задачи возможно только с переходом к параллельным вычислениям с использованием суперкомпьютера.

Представляется естественным, что предложенная модель может стать базовой для создания искусственного общества Европы. С помощью такого искусственного общества можно будет проигрывать различные варианты будущего Европы, которое обсуждается пока в основном в СМИ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Вишневский А.Г.** (1982). Воспроизводство населения и общество: История, современность, взгляд в будущее. М.: Финансы и статистика.
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р.** (2013). Социальное моделирование – новый компьютерный прорыв (агент-ориентированные модели). М.: Экономика.
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д.** (2015). Имитация особенностей репродуктивного поведения населения в агент-ориентированной модели региона // *Экономика региона*. № 3. С. 312–322.
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Васенин В.А., Борисов В.А., Роганов В.А.** (2016). Суперкомпьютерные технологии в общественных науках: агент-ориентированные демографические модели // *Вестник Российской академии наук*. № 5. С. 412–421.
- Тарасов В.Б.** (2002). От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. М.: Эдиториал УРСС.
- Billari F.C., Prskawetz A.** (eds.). (2003). *Agent-Based Computational Demography: Using Simulation to Improve Our Understanding of Demographic Behaviour*. Heidelberg: Springer – Verlag.
- 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*. Vol. 17. P. 59–82.
- Diaz B.A.** (2010). *Agent-Based Models on Social Interaction and Demographic Behaviour* (Ph.D. Thesis). Wien: Technische Universität.
- Espíndola A.L., Silveira J.J., Penna T.J.P.** (2006). A Harris-Todaro Agent-Based Model to Rural-Urban Migration // *Brazilian Journal of Physics*. Vol. 36. No. 3A. P. 603–609.
- Groen D.** (2016). Simulating Refugee Movements: Where Would You Go? [Электронный ресурс] // *Procedia Computer Science*. Vol. 80. P. 2251–2255. Режим доступа: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050916308766>, свободный. Загл. с экрана. Яз. англ. (дата обращения: август 2016 г.).
- Harris J.R., Todaro M.P.** (1970). Migration, Unemployment and Development: A Two-Sector Analysis // *American Economic Review*. Vol. 60. P. 126–142.
- 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*”. Heidelberg: Springer. P. 73–96.
- Janmaat J., Lapp S., Wannop T., Bharati L., Sugden F.** (2015). Demonstrating Complexity with a Role-playing Simulation: Investing in Water in the Indrawati Subbasin, Nepal. [Электронный ресурс] International Water Management Institute, Sri Lanka. Research Report 163. Режим доступа: [http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/IWMI\\_Research\\_Reports/PDF/pub163/rr163.pdf](http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/IWMI_Research_Reports/PDF/pub163/rr163.pdf), свободный. Загл. с экрана. Яз. англ. (дата обращения: август 2016 г.).
- Klabunde A.** (2014). Computational Economic Modeling of Migration. [Электронный ресурс] Ruhr Economic Papers #471. Ruhr Universität Bochum, Germany. Режим доступа: <http://www.econstor.eu/dspace/bitstream/10419/93072/1/779444728.pdf>, свободный. Загл. с экрана. Яз. англ. (дата обращения: август 2016 г.).
- Klabunde A., Zinn S., Leuchter M., Willekens F.** (2015). An Agent-Based Decision Model Embedded in the Life Course. [Электронный ресурс] Max Planck Institute for Demographic Research. Working Paper (WP 2015–002). Режим доступа: <http://www.demogr.mpg.de/papers/working/wp-2015-002.pdf>, свободный. Загл. с экрана. Яз. англ. (дата обращения: август 2016 г.).
- Laing D., Park C., Wang P.** (2005). A Modified Harris-Todaro Model of Rural-Urban Migration for China. [Электронный ресурс] Режим доступа: [http://pages.wustl.edu/files/pages/imce/pingwang/harris-todaro-china\\_2005.pdf](http://pages.wustl.edu/files/pages/imce/pingwang/harris-todaro-china_2005.pdf), свободный. Загл. с экрана. Яз. англ. (дата обращения: август 2016 г.).
- Naivinit W., Le Page C., Trébuil G., Gajaseeni N.** (2010). Participatory agent-based modeling and simulation of rice production and labor migrations in Northeast Thailand // *Environmental Modelling & Software*. Vol. 25(11). P. 1345–1358. DOI: 10.1016/j.envsoft.2010.01.012.
- Pablo-Martí F., Santos J.S., Kaszowska J.** (2015). An Agent-Based Model of Population Dynamics for the European Regions. [Электронный ресурс] *Emergence: Complexity and Organization*. Режим доступа: <https://journal>.

emergentpublications.com/article/an-agent-based-model-of-population-dynamics-for-the-european-regions/  
свободный. Загл. с экрана. Яз. англ. (дата обращения: август 2016 г.).

**Silverman E., Bijak J., Hilton J., Cao V.D., Noble J.** (2013). When Demography Met Social Simulation: A Tale of Two Modelling Approaches [Электронный ресурс] // *Journal of Artificial Societies and Social Simulation (JASSS)*. Vol. 16 (4). Режим доступа: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/16/4/9.html>, свободный. Загл. с экрана. Яз. англ. (дата обращения: август 2016 г.).

**Silverman E., Bijak J., Noble J., Cao V., Hilton J.** (2014). 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 II*. P. 177–189. Springer Japan. DOI: 10.1007/978-4-431-54847-8-12.

**Sokolowski J.A., Banks C.M., Hayes R.L.** (2014). Modeling Population Displacement in the Syrian City of Aleppo. [Электронный ресурс] Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference. IEEE. P. 252–263. Режим доступа: <http://www.informs-sim.org/wsc14papers/includes/files/023.pdf>, свободный. Загл. с экрана. Яз. англ. (дата обращения: август 2016 г.).

**Stillwell J., Clarke M.** (eds.) (2011). Population Dynamics and Projection Methods, Understanding Population Trends and Processes. Springer Science+Business Media B.V. Vol. 4. DOI: 10.1007/978-90-481-8930-4.

**Tiebout C.** (1956). A Pure Theory of Local Expenditures // *The Journal of Political Economy*. Vol. 64. No. 5. P. 416–424.

**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*. P. 347–360. DOI: 10.1007/978-90-481-8927-4-16.

Поступила в редакцию  
03.08.2016 г.

#### REFERENCES (WITH ENGLISH TRANSLATION OR TRANSLITERATION)

**Billari F.C., Prskawetz A.** (eds.) (2003). Agent-Based Computational Demography: Using Simulation to Improve Our Understanding of Demographic Behaviour. Heidelberg: Springer – Verlag.

**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.

**Diaz B.A.** (2010). Agent-Based Models on Social Interaction and Demographic Behaviour (Ph.D. Thesis). Wien: Technische Universität.

**Espíndola A.L., Silveira J.J., Penna T.J.P.** (2006). A Harris-Todaro Agent-Based Model to Rural-Urban Migration. *Brazilian Journal of Physics* 36, 3A, 603–609.

**Groen D.** (2016). Simulating Refugee Movements: Where would you go? *Procedia Computer Science* 80, 2251–2255. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050916308766> (accessed: August 2016).

**Harris J.R., Todaro M.P.** (1970). Migration, Unemployment and Development: A Two-Sector Analysis. *American Economic Review* 60, 126–142.

**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*. Heidelberg: Springer, 73–96.

**Janmaat J., Lapp S., Wannop T., Bharati L., Sugden F.** (2015). Demonstrating Complexity with a Role-playing Simulation: Investing in Water in the Indrawati Subbasin, Nepal. International Water Management Institute, Sri Lanka. Research Report 163. Available at: [http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/IWMI\\_Research\\_Reports/PDF/pub163/rr163.pdf](http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/IWMI_Research_Reports/PDF/pub163/rr163.pdf) (accessed: August 2016).

**Klabunde A.** (2014). Computational Economic Modeling of Migration. Ruhr Economic Papers #471. Ruhr Universität Bochum, Germany. Available at: <http://www.econstor.eu/dspace/bitstream/10419/93072/1/779444728.pdf> (accessed: August 2016).

**Klabunde A., Zinn S., Leuchter M., Willekens F.** (2015). An Agent-Based Decision Model Embedded in the Life Course. Max Planck Institute for Demographic Research. Working Paper (WP 2015-002). Available at: <http://www.demogr.mpg.de/papers/working/wp-2015-002.pdf> (accessed: August 2016).

**Laing D., Park C., Wang P.** (2005). A Modified Harris-Todaro Model of Rural-Urban Migration for China. Available at: [http://pages.wustl.edu/files/pages/imce/pingwang/harris-todaro-china\\_2005.pdf](http://pages.wustl.edu/files/pages/imce/pingwang/harris-todaro-china_2005.pdf) (accessed: August 2016).

- Makarov V.L., Bakhtizin A.R.** (2013). Social simulation is a new computer breakthrough. Agent-based models. Moscow: Ekonomika Publ. (in Russian).
- Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Sushko E.D.** (2015). Simulating the Reproductive Behavior of a Region's Population with an Agent-Based Model. *Economy of Region* 3, 312–322 (in Russian).
- Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Sushko E.D., Vasenin V.A., Borisov V.A., Roganov V.A.** (2016). Supercomputer Technologies in Social Sciences: Agent-Oriented Demographic Models. *Herald of the Russian Academy of Sciences* 5, 412–421 (in Russian).
- Naivinit W., Le Page C., Trébuil G., Gajaseni N.** (2010). Participatory Agent-Based Modeling and Simulation of Rice Production and Labor Migrations in Northeast Thailand. *Environmental Modelling & Software* 25(11), 1345–1358. DOI: 10.1016/j.envsoft.2010.01.012.
- Pablo-Marti F., Santos J.S., Kaszowska J.** (2015). An Agent-Based Model of Population Dynamics for the European Regions. Emergence: Complexity and Organization. Available at: <https://journal.emergentpublications.com/article/an-agent-based-model-of-population-dynamics-for-the-european-regions/> (accessed: August 2016).
- 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> (accessed: August 2016).
- Silverman E., Bijak J., Noble J., Cao V., Hilton J.** (2014). 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", 177–189. Springer Japan. DOI: 10.1007/978-4-431-54847-8-12.
- Sokolowski J.A., Banks C.M., Hayes R.L.** (2014). Modeling Population Displacement in the Syrian City of Aleppo. Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference. IEEE, 252–263. Available at: <http://www.informs-sim.org/wsc14papers/includes/files/023.pdf> (accessed: August 2016).
- Stillwell J., Clarke M.** (2011) (Eds.). Population Dynamics and Projection Methods, Understanding Population Trends and Processes. Springer Science, Business Media B.V., 4. DOI: 10.1007/978-90-481-8930-4.
- Tarasov V.B.** (2002). From Multiagent Systems to Intelligent Organizations: Philosophy, Psychology, Computer Science. Moscow: Editorial URSS Publ. (in Russian).
- Tiebout C.** (1956). A Pure Theory of Local Expenditures. *The Journal of Political Economy* 64, 5, 416–424.
- Vishnevskiy A.G.** (1982). Society and Population Reproduction. History, Present Days, Look into Future. Moscow: Finansy i statistika Publ. (in Russian).
- 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.

Received 03.08.2016

## ARTIFICIAL SOCIETY AND REAL DEMOGRAPHIC PROCESSES<sup>\*\*</sup>

V.L. Makarov<sup>9</sup>, A.R. Bakhtizin<sup>10</sup>, E.D. Sushko<sup>11</sup>, A.F. Ageeva<sup>12</sup>

**Abstract.** The paper describes the use of agent-based approach to population movement modeling. It provides an overview of the most characteristic demographic agent-based model (ABM), developed

<sup>\*\*</sup> The research was supported by the Russian Science Foundation (Project No. 14-18-01968).

<sup>9</sup> **Valerii L. Makarov** – Director, Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences, academician of the Russian Academy of Sciences, makarov@cemi.rssi.ru.

<sup>10</sup> **Albert R. Bakhtizin** – Corresponding member, doctor of Economics, Deputy Director, Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences, albert.bakhtizin@gmail.com.

<sup>11</sup> **Elena D. Sushko** – Candidate of Science (Economics), Leading Scientific Researcher, Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences, sushko\_e@mail.ru.

<sup>12</sup> **Alina F. Ageeva** – Candidate of Science (Architecture), Lead Engineer, Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences, ageevaalina@yandex.ru.

in the past decade. The EU demographic model for simulating mortality, fertility and migration processes based on the behavior of individual agents in the artificial society is produced. Thus, the creation of new agents (birth of the children) in the model is a result of the individual choice of female agents of reproductive age, and this choice depends on their values and culture. The population of agents in this regard is not uniform – some agents follow the modern reproductive strategies (low fertility rates), and some – the traditional (high fertility rates). The migration of agents is based on the difference in the level of income in different countries. The results of experiments carried out using the model are analyzed and provided.

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

**JEL Classification:** J11, F22, C63, C88.