

# НОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКЕ

Для цитирования: Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д., Агеева А. Ф. Агент-ориентированный подход при моделировании трудовой миграции из Китая в Россию // Экономика региона. — 2017. — Т. 13, вып. 2. — С. 331-341

doi 10.17059/2017-2-1

УДК 519.876.5; 314.7; 314.186; 004.942

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

Центральный экономико-математический институт РАН (Москва, Российская Федерация; e-mail: sushko\_e@mail.ru)

## АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ТРУДОВОЙ МИГРАЦИИ ИЗ КИТАЯ В РОССИЮ<sup>1</sup>

*В статье рассмотрен процесс трудовой миграции из Китая в Россию и показано его моделирование с использованием агентного подхода. Такой подход позволяет воссоздать в компьютерной программе искусственное общество с учетом разнообразия рассматриваемых индивидуумов, а также смоделировать комплекс законов и правил поведения, составляющих институциональную среду, в которой живут члены этого общества. Дан краткий обзор и анализ агент-ориентированных моделей миграции, представленных в зарубежной литературе. Концепция разработанной в ЦЭМИ РАН агент-ориентированной модели трудовой миграции из Китая в Россию опирается на максимально приближенную к реальности имитацию поведения людей исходя из их внутренних установок, обуславливающих выбор агентами-людьми территории — места жительства. Для этого при разработке конструкции агентов модели и алгоритмов их поведения, а также организации среды, в которой они существуют и взаимодействуют, были учтены основные особенности населения двух соседних стран и происходящих в них демографических процессов. С помощью модели было проведено два эксперимента. Цель первого из них заключалась в оценке влияния снижения курса рубля по отношению к юаню на общие показатели трудовой миграции, а также ее структуру. В ходе второго эксперимента менялась процедура поиска агентами информации для принятия миграционного решения, а именно, вся обобщающая информация о средней заработной плате по видам деятельности и уровню квалификации работников, как в Китае, так и в России становилась доступной всем агентам независимо от уровня их собственной квалификации.*

**Ключевые слова:** агент-ориентированное моделирование, программное обеспечение, демография, международная миграция, трудовая миграция, типы воспроизводства населения, численность населения региона, половозрастная структура населения, прогнозирование, российско-китайские отношения

### Введение

Одним из характерных проявлений глобализации является масштаб миграционных процессов. В современном мире огромные массы людей перемещаются в поисках безопасной и (или) просто более обеспеченной жизни не только в пределах собственных стран, но и за их рубежами. При этом в экономически развитых странах уже завершился демографический переход от традиционного типа воспроизводства

населения с высокими показателями смертности и рождаемости к современному типу воспроизводства с их низкими значениями (сошлемся, например, на работу А.Г. Вишневого [1]). Следствием этих изменений стали такие наблюдаемые в развитых странах явления, как снижение общей численности населения (депопуляция), старение населения (увеличение доли старших возрастных когорт), а также сокращение доли населения в трудоспособном возрасте и объективная потребность экономик этих стран в притоке рабочей силы извне. В то же время, в странах менее благополучных, в которых проживает значительно большая

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

часть населения Земли, демографический переход еще не завершен, и показатели рождаемости находятся на более высоком уровне. Эти страны и служат донорами рабочей силы.

Анализ демографических показателей нашей страны свидетельствует о том, что мы также перешли к современному типу воспроизводства (например, суммарный коэффициент рождаемости хотя и повышается начиная с 1999 г., но пока чуть превысил 1,7 ребенка на одну женщину, что не обеспечивает простого воспроизводства населения). Поэтому в России также наблюдается старение населения. Например, с 2005 г. по 2014 г. в целом по России доля населения старше трудоспособного возраста, по данным Росстата, выросла на 3,5 п. п., в то время как доля населения в трудоспособном возрасте сократилась на 4,6 п. п. Кроме естественного движения населения, есть еще процессы внутренней миграции, оказывающей существенное влияние на региональные рынки труда. Так, население Дальневосточного федерального округа за тот же период сократилось на 3,85 %, в то время как доля населения старше трудоспособного возраста выросла на 5,6 п. п., а доля населения в трудоспособном возрасте сократилась на 4,8 п. п.<sup>1</sup> Неслучайно именно в этом округе наблюдается самая высокая в стране доля иностранной рабочей силы в численности занятых, и существенную часть из них составляют граждане соседнего Китая. В статье С.Н. Мишук [2] представлен анализ особенностей международной трудовой миграции из Китая в Россию, главным образом, из приграничных провинций Китая в субъекты РФ, входящие в Дальневосточный федеральный округ (ДФО). Там же отмечается большое значение привлекаемой иностранной рабочей силы для экономики Дальневосточного региона. Особенно это касается Еврейской автономной области, для которой с помощью методов математического моделирования были рассчитаны сценарии динамики численности иностранных рабочих из Китая.

Мы также считаем рассмотрение процессов взаимодействия населения двух соседних стран с использованием средств математического и компьютерного моделирования задачей, актуальной в практическом отношении и интересной в научном. Однако при разработке моделей мы применяем агент-ориентированный подход, который является разновидностью имитационного моделирования [3, 4].

### Агент-ориентированный подход и моделирование демографических процессов

Агентный подход к моделированию больших систем вообще и демографических процессов в частности в последнее время активно развивается во всем мире. Значительное число известных демографических агент-ориентированных моделей (АОМ) предназначены для исследования различных миграционных процессов, таких как миграция из села в город, междоуличная, трудовая миграция и другие виды перемещения людей.

Приведем примеры наиболее типичных моделей. В соответствии с выбранным подходом, миграция в создаваемой искусственной среде является следствием действий отдельных представителей популяции агентов многоагентной системы (МАС). Поэтому при анализе конструкций АОМ миграционных процессов мы будем обращать внимание на следующие ключевые моменты:

- а) побудительные мотивы агентов модели к миграции;
- б) критерии выбора каждым агентом конкретной территории, куда он стремится переместиться;
- в) ограничения среды, которые препятствуют реализации миграционных намерений агентов.

Кроме того, большинство моделей создавалось не только для анализа особенностей населения конкретных территорий и прогнозирования их изменения при возможных сценариях развития социально-экономической среды, но и для отработки мер, направленных на корректировку этой среды. Эти модели создавались как инструмент, позволяющий в компьютерных экспериментах апробировать различные меры, направленные на ограничения или стимулирование миграционной активности населения и оценить их последствия.

Наиболее распространенным подходом в разработке АОМ, посвященных миграции из села в город, является реализация классической модели Харриса — Тодаро [5], в которой изучались такие ключевые факторы, как экономические стимулы, разница доходов сельских и городских жителей и возможность найти работу в определенной территориальной близости. Миграции на основе модели Харриса — Тодаро, посвящены, например, АОМ, описанные в работах [6, 7]. В последней модели были также введены параметры среды, направленные на ужесточение исполнения закона о прописке, оценке влияния которых на миграцион-

<sup>1</sup> Регионы России. Социально-экономические показатели 2015. Стат. сб. / Росстат. М., 2015. 1266 с.

ный поток и были посвящены проводимые с использованием модели эксперименты.

Еще одним достаточно многочисленным классом АОМ являются такие, в которых причинами миграции агентов-людей из села в город выступают природные экологические или климатические условия. В качестве примера можно привести два исследования, которые касались изучения специфики организации трудовой жизни сельского населения двух азиатских стран — Таиланда [8] и Непала [9], зависящей от региональных климатических условий и слабой развитости инженерной инфраструктуры. В этих моделях агенты покидают село вынужденно, так как деградация аграрной экосистемы не обеспечивает им дохода даже на минимальном уровне. Целью компьютерных экспериментов была апробация различных стратегий развития инфраструктуры водоснабжения этих регионов.

Внутренней миграции посвящена, например, модель, описанная в работе [10], которая объясняет наблюдаемые с 1989 г. миграционные потоки из земель Восточной Германии в Западную. Аналогичная модель описана в работе [11], посвященной рассмотрению межстрановой трудовой миграции внутри европейских стран. В обеих моделях агенты принимают решение о переезде в зависимости от степени удовлетворенности своим трудовым статусом и уровнем доходов. Выбор целевого региона агенты при этом осуществляют с учетом разницы между экономическими показателями регионов и уровнем безработицы в них, а также расстояния между регионами.

Другой тип мотивации агентов представляют модели, в которых миграция вызвана опасными событиями. Речь здесь, как правило, идет о межстрановой миграции, и механизм выбора цели перемещения агентов связан не с экономическими, а скорее с институциональными условиями разных стран, их способностью и готовностью принимать беженцев. Примером может служить работа [12], в которой модель предназначена для прогнозирования потоков беженцев в зависимости от того, в какие сроки открывают соседние страны свои границы для беженцев. Другим примером модели этого направления может служить работа, имитирующая движения населения в сирийском городе Алеппо [13]. В ней, кроме прочего, 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, побуж-

дающие их к миграции, но и те взаимодействия агентов между собой, которые способствуют реализации их миграционных намерений.

Тему влияния социальных сетей продолжают МАС, описанные в работах [14, 15]. В этих работах, наряду с использованием демографических и экономических данных, в процедурах принятия и реализации агентами миграционных решений учитываются также их социальные связи с эмигрировавшими ранее согражданами.

В целом можно отметить, что несмотря на специфику имитируемых в представленных МАС миграционных процессов, связанных с конкретными регионами и актуальными для них проблемами, в конструкциях этих моделей можно выделить основные элементы. Для описания среды — это показатели, характеризующие экономические, экологические, институциональные, а также связанные с безопасностью факторы, которые побуждают агентов к перемене места жительства и способствуют (или препятствуют) осуществлению миграционных решений агентов. А агенты при этом наделяются соответствующими свойствами, позволяющими дифференцировать их относительно целевых групп, на которые влияют различные факторы среды. Агенты, кроме того, должны обладать внутренними процедурами, которые позволяют им выводить необходимость и возможность совершения переезда в другую юрисдикцию исходя из собственных характеристик и свойств среды.

### Концепция модели

Концепция разработанной в ЦЭМИ РАН агент-ориентированной модели трудовой миграции из Китая в Россию опирается на максимально приближенную к реальности имитацию поведения людей исходя из их внутренних установок, обуславливающих выбор агентами-людьми территории — места жительства. Для этого при разработке конструкции агентов и алгоритмов их поведения, а также организации среды, в которой они существуют и взаимодействуют, были учтены основные особенности населения двух соседних стран и происходящих в них демографических процессов. Эти основные особенности показаны в работах А.Г. Ларина [16, 17], С.Н. Мищук [2] и Ян Хунмэй [18]:

1. Колоссальная разница в численности населения приграничных территорий. Так, численность населения двух провинций и автономного округа Китая более чем в 15 раз превышает общую численность населения грани-

чащих с ними российских регионов Дальнего Востока и Забайкалья.

2. Отличия в репродуктивных стратегиях жителей двух стран. В Китае эта сфера жестко регулируется государством, ограничивающим число детей в семье (причем для сельского населения ограничения менее жесткие, чем для городского).

3. Значительная разница в уровне жизни сельского и городского населения Китая (например, в 2008 г. доходы городского населения превышали доходы сельских жителей в 3,3 раза), а также в уровне безработицы в городе (около 4 %) и на селе (по оценкам специалистов, порядка 20 %).

4. Китайцы сохраняют этническую и гражданскую идентичность, поэтому при выборе цели миграции предпочитают регионы внутри страны, если там есть работа, соответствующая уровню их запросов.

5. Практически все китайские мигранты имеют образование не ниже средней школы первой ступени, а пятая часть — даже высшее.

6. Социально-демографический состав китайских мигрантов в России характеризуется явным преобладанием мужчин над женщинами, а также доминированием людей молодых и средних возрастов (максимальная доля мигрантов приходится на возрастные группы от 26 до 30 лет и от 31 до 35 лет).

7. Виды деятельности, в которых заняты мигранты: некоторые отрасли промышленности (швейная, обувная и т. п.), строительство и сельское хозяйство (в сумме примерно 20 % от общей численности), сфера оказания посреднических услуг своим же соотечественникам (около 10 %), большинство же занято в торговле.

8. Информацию, необходимую для переезда и устройства в России, будущие мигранты получают, в основном, через неофициальные каналы — рассказы родственников, знакомых, интернет-сайты.

Соответственно, агенты в созданном нами искусственном обществе наделены всеми характеристиками, которые значимы с точки зрения имитируемых в модели процессов: естественного движения населения, внутренней миграции, включая миграцию из села в город, и международной миграции. Моделирование естественного движения населения основано на разработанной ранее демографической модели [19]. В настоящей модели агенты популяции также делятся на группы (типы), придерживающиеся разных репродуктивных стратегий, определяющих число детей, рождаемых

агентом-женщиной в течение репродуктивного периода. Эти типы соответствуют таким социальным группам, как сельское и городское население. Поэтому тип агента может смениться в результате его переезда из села в город.

В настоящей модели рассматривается именно трудовая миграция китайских граждан в Россию, то есть, речь идет о той категории мигрантов, которую китайцы называют «хуацяо» (китайский гражданин, постоянно проживающий за границей), без выделения в особую группу мигрантов, которые приняли российское гражданство («вайцзи хуажень») [16, с. 343]. Такой подход в первом приближении оправдан, когда мы рассматриваем китайскую миграцию в Россию, так как в нашей стране доля китайских мигрантов, сменивших гражданство, крайне мала.

При построении системы социальных связей агентов мы опирались на принятое в Китае выделение категории граждан, проживающих в Китае и являющихся ближайшими родственниками эмигрантов, — так называемых «цяоцзюань». К этой категории относятся: супруг (супруга), родители обоих супругов, супруги детей, братья и сестры супругов [16, с. 343]. В модели социальная сеть агента-мигранта дополнена супругами братьев и сестер его и его жены. Пример родственных связей агента-мигранта показан на рисунке.

Под уровнем притязаний понимается набор характеристик желательной для агента позиции на рынке труда: а) статус работника (характер труда); б) вид деятельности; в) заработная плата.

Для имитации поведения агентов принципиальным полагается их деление на группы работников разной квалификации. Так, от уровня квалификации агента зависят не только его фактический заработок и шансы на трудоустройство, но и сама его осведомленность о таких возможностях. Например, рисунок дает наглядное представление о том, что каждый китайский мигрант может служить источником информации об условиях своей жизни и работы в России для достаточно широкого круга своих родственников, живущих в Китае. Однако доля китайцев, работающих в России, крайне мала относительно общей численности населения Китая, значит, и информацию из подобных источников может почерпнуть только малая часть населения. Кроме того, эта информация необъективна — она ограничена частным опытом отдельных людей и не позволяет судить об условиях трудоустройства воз-

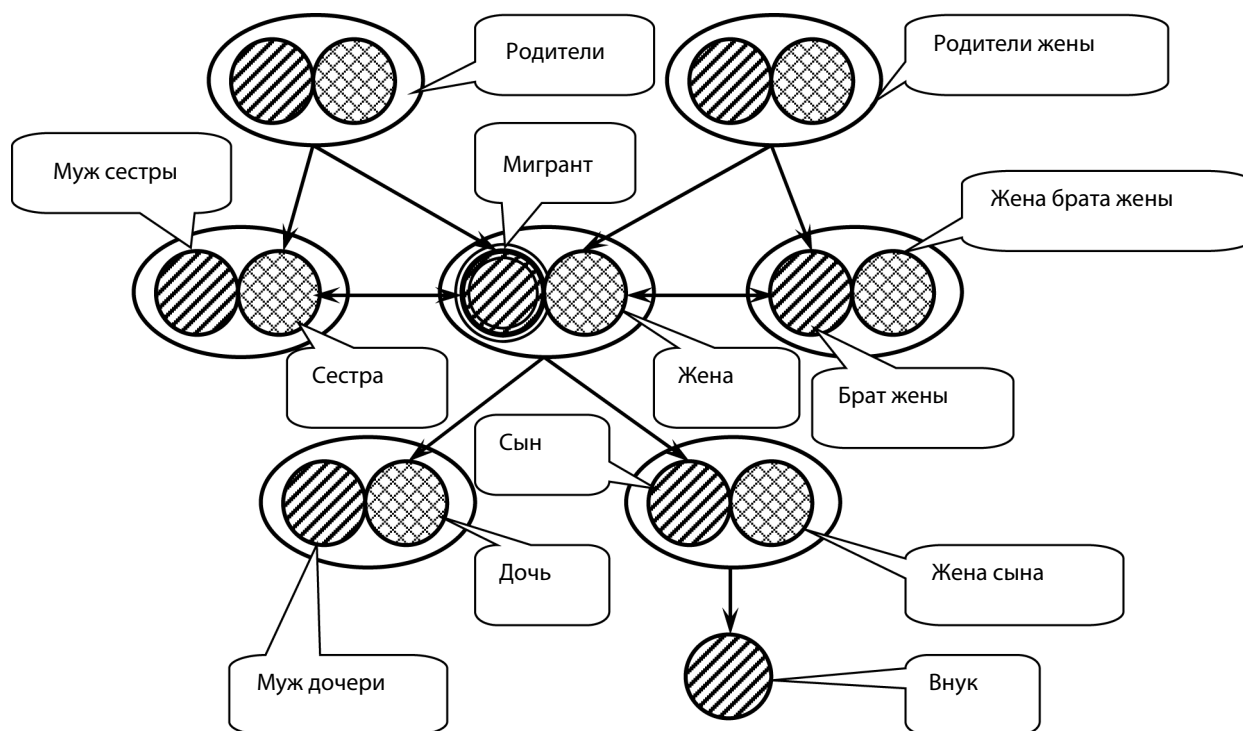


Рис. Пример социальной сети агента-мигранта на основе его родственных связей

можных мигрантов другой квалификации и в других сферах деятельности. Есть также и существенные отличия в мотивации к миграции людей, относящихся к разным группам: если люди с низким уровнем образования, безработных или зарабатывающих недостаточно для содержания семьи, к миграции вынуждает поиск хоть какого-то заработка, то вполне благополучные в своей стране специалисты едут за заработком еще более высоким.

### Программная реализация модели

Для апробации представленной конструкции АОМ миграции был разработан прототип модели в среде AnyLogic<sup>1</sup>. Агенты в модели живут и работают на территории регионов в городах или в сельской местности, а регионы, в свою очередь, являются частями стран. Наибольшая доля иммигрантов из КНР приезжает в Россию из приграничных северо-восточных провинций — Хэйлунцзян, Цзилинь, Ляонин, а также Автономного района Внутренняя Монголия, а расселяются они в приграничных субъектах РФ, входящих в ДФО. Поэтому в прототипе модели в качестве объекта моделирования со стороны Китая была выбрана провинция Хэйлунцзян, а со стороны России — ДФО в целом. Для постро-

ения и калибровки модели использовались данные Росстата и Национального бюро статистики Китая<sup>2</sup>.

Языком программирования в среде разработки AnyLogic является объектно-ориентированный язык Java. При объектно-ориентированном подходе объекты реального мира заменяются их моделями, то есть определенными формальными конструкциями (классами), представляющими их в программной системе. Таким образом, основой архитектуры модели служит следующая система Java-классов:

#### 1. Класс стран (Россия и Китай).

Характеристики: 1) курс национальной валюты; 2) ВВП; 3) численность постоянного населения и его половозрастная структура; 4) ВВП на душу населения; 5) доля людей с высшим образованием среди взрослого населения; 6) численность сельского и городского населения; 7) уровень безработицы среди сельского и городского населения; 8) средняя заработная плата по видам деятельности; 9) коэффициенты смертности, дифференцированные по полу и возрасту; 10) суммарные коэффициенты рождаемости или правила ее регулирования для сельского и городского населения;

Класс содержит также список (коллекцию) регионов, расположенных на территории

<sup>1</sup> AnyLogic — инструмент имитационного моделирования, который поддерживает различные подходы к созданию имитационных моделей, в том числе и агентный. Более подробно см.: <http://www.anylogic.ru> (дата обращения: 22.03.2017).

<sup>2</sup> Национальное бюро статистики Китая, <http://www.stats.gov.cn/english/> (дата обращения: 22.03.2017).

страны (в прототипе модели речь идет об одном регионе для каждой из стран).

## **2. Класс регионов (ДФО и провинция Хэйлуцзян).**

Характеристики: 1) страна, к которой принадлежит регион; 2) ВРП; 3) численность постоянного населения и его половозрастная структура; 4) ВРП на душу населения; 5) численность сельского и городского населения; 6) уровень безработицы среди сельского и городского населения; 7) численность занятых по видам деятельности; 8) средняя заработная плата по видам деятельности; 9) численность мигрантов и их половозрастная структура.

Класс содержит популяцию агентов-людей — его жителей, а также коллекцию из восьми объектов — видов деятельности, которые представляют отрасли на его территории

## **3. Класс видов деятельности (сельское хозяйство, промышленность, добывающие отрасли, строительство, торговля, услуги, наука и технологии, управление).**

Характеристики: 1) распределение работников по уровню квалификации; 2) коэффициенты дифференциации заработной платы для работников разного уровня квалификации.

## **4. Класс агентов-людей (численность популяции агентов — 100000).**

Характеристики: 1) гражданство; 2) регион — место жительства; 3) регион — место рождения; 4) социальная категория (сельский или городской житель); 5) социальная категория при рождении; 6) пол; 7) возраст; 8) желаемое число детей в семье; 9) фактическое число детей; 10) родственные связи (коллекции ближайших родственников: родители, братья и сестры, супруг, дети); 11) уровень образования; 12) вид деятельности; 13) статус работника (неквалифицированный работник, квалифицированный и высококвалифицированный); 14) заработная плата; 15) текущий уровень притязаний; 16) признак готовности к миграции.

Класс содержит также методы: 1) метод, осуществляющий поиск партнера и рождение ребенка; 2) метод, осуществляющий сбор информации; 3) метод, определяющий уровень притязаний; 4) метод, реализующий миграцию.

Общее управление работой модели осуществляет главный класс. Он обеспечивает ввод исходной информации, создание популяции агентов и экземпляров других классов модели заданной численности (при создании каждый экземпляр класса получает индивидуальный номер), установку начального состояния системы, соответствующего базовому

году имитации, отображение состояния популяции агентов и других обобщающих показателей МАС на экране, организацию диалога с пользователем, организацию процесса имитации на каждом шаге.

Кроме того, каждый класс, содержащий коллекцию агентов, содержит также метод, обеспечивающий сбор статистики по этой коллекции для получения обобщающих показателей.

Для точной имитации в модели происходящих в реальности процессов важно корректное воспроизведение начального состояния моделируемой системы. В начале работы модели из внешней базы данных считывается исходная информация, необходимая для создания модели, и создается популяция агентов, личностные характеристики которых с помощью вероятностных распределений присваиваются таким образом, чтобы воспроизвести заданную половозрастную и социальную структуру населения моделируемых регионов в базовом (2013-м) году. Для корректного воспроизведения на популяции агентов структуры населения важна последовательность присвоения значений их характеристик. Например, желаемое число детей в семье зависит от социальной группы, к которой относится агент — и в нашей стране, и в Китае репродуктивное поведение сельского населения и городского различаются. Поэтому значение желаемого числа детей присваивается агенту после его поселения в городе или на селе конкретного региона. Характеристики агента-человека перечислены выше в той последовательности, в которой происходит присвоение им конкретных значений. Образование родственных связей между агентами происходит после присвоения им всех характеристик, а уже затем часть агентов-жителей провинции Хэйлуцзян становятся мигрантами — у них меняется регион проживания. И эта группа агентов формируется таким образом, чтобы воспроизвести заданную возрастную-половую и социальную структуру диаспоры китайских мигрантов в России в базовом году.

После установки начального состояния и принятия управляющих параметров от пользователя в модели имитируются действия агентов популяции, а общие характеристики всей системы меняются в результате действий отдельных агентов. В первую очередь, на каждом шаге работы модели (соответствующем одному году) имитируются процессы естественного движения постоянного населения каждого региона. Смертность имитируется на основе использования метода передвижки возрастов и

Таблица 1

## Отличительные черты поведения агентов с разным уровнем квалификации

Показатель	Группы агентов-работников по уровню квалификации		
	Высококвалифицированные	Квалифицированные	Работники с низким уровнем квалификации
Состав группы	Агенты с высшим образованием	α агентов без высшего образования, занятых в высокотехнологичных отраслях; β агентов без высшего образования, занятых в остальных отраслях	Все остальные взрослые агенты
Информация для принятия решения о поиске работы и ее источники	Полная информация об уровне заработной платы по видам деятельности и регионам обеих стран. Источник — накопленная в модели обобщающая информация	1. Информация об уровне заработной платы в своем виде деятельности по регионам обеих стран. Источник — накопленная в модели обобщающая информация 2. Информация об уровне заработной платы в России в отдельном виде деятельности. Источник — мигрант, входящий в ближайшее окружение агента	Информация об уровне заработной платы в России в отдельном виде деятельности. Источник — мигрант, входящий в ближайшее окружение агента
Уровень притязаний:			
– статус работника	Сохранить свой статус	Сохранить свой / понизить, если компенсируется заработком	Сохранить свой
– вид деятельности	Сохранить свой вид деятельности	Сохранить свой / сменить, если компенсируется заработком	Любой
– уровень заработка	Увеличить в $\delta_1$ раз	Увеличить в $\delta_2$ раз	Увеличить в $\delta_3$ раз

вероятностных механизмов, а для имитации рождаемости разработана специальная процедура, которая включает образование семейных пар и принятие агентами решения о рождении ребенка, вероятность которого зависит от их принадлежности к тому или иному типу, наличия детей и возраста агента-супруги.

Миграция имитируется процедурами, определяющими уровень притязаний и готовность к переезду каждого взрослого агента. При этом необходимую информацию агент получает от ближайшего окружения следующим образом: вначале на наличие трудовых мигрантов проверяется коллекция родственников агента, а затем проверяются такие же коллекции каждого из родственников. Найденные в этих коллекциях мигранты предоставляют исходному агенту информацию об условиях своего труда (вид деятельности, статус, заработная плата) и служат для него ориентиром при оценке возможностей трудоустройства с учетом собственной квалификации.

Различия в поведении агентов разного уровня квалификации показаны в таблице 1, в которой  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta_1$ ,  $\delta_2$ ,  $\delta_3$  — используемые в модели условные коэффициенты. Значения коэффициентов  $\alpha$  и  $\beta$  были выбраны по аналогии с пропорциями соответствующих групп

работников по уровню образования в российских отраслях, для которых есть статистические данные. Значения коэффициентов  $\delta_1$ ,  $\delta_2$ ,  $\delta_3$  уточнялись в процессе калибровки модели таким образом, чтобы общий поток трудовых мигрантов из Китая в Россию, а также соотношение численности его отдельных групп совпадали с наблюдавшимися в базовом году. Предложение рынка труда при этом имитировалось следующим образом: наличие вакансий в различных видах деятельности и для разных категорий работников принималось соответствующим состоянием базового года. А предлагаемая заработная плата — в размере средней по отраслям, также с дифференциацией по уровню образования работников.

### Результаты апробации модели

Главной целью разработки АОМ является создание инструмента, позволяющего достаточно точно имитировать в искусственной среде наблюдающиеся в жизни процессы. Поэтому гипотеза, выполнение которой мы стремились проверить, — это способна ли АОМ, реализующая представленную конструкцию, адекватно воспроизводить реакцию моделируемой социально-экономической системы на изменения внешних условий. Для оценки

Распределение китайских мигрантов по видам деятельности, а также соотношение их среднемесячной заработной платы в ДФО и в провинции Хэйлунцзян

Отрасль	Доля занятых, %	Соотношение заработной платы		
		при значении курса юаня 6,264	при значении курса юаня 9,74	при значении курса юаня 10,466
Строительство	8,5	1,86	1,20	1,11
Промышленность	8,5	1,28	0,82	0,76
Сельское хозяйство	8,5	1,60	1,03	0,96
Торговля	59,5	1,84	1,18	1,10
Услуги своим соотечественникам	10,0	1,50	1,20	1,20
Научные исследования	5,0	3,75	3,75	3,75

адекватности модели были проведены эксперименты при следующих исходных условиях:

— численность популяции агентов — 100 тысяч;

— все агенты-мигранты — выходцы из провинции Хэйлунцзян, причем половина — из сельской местности;

— уровень безработицы для городских территорий провинции — 4 %, а для сельских — 20 %;

— условия рынка труда в ДФО показаны в таблице 2 (заработная плата рассчитана по данным 2014 года).

#### Эксперимент 1. Варьирование курса валют

Целью эксперимента — оценка влияния снижения курса рубля по отношению к юаню на общие показатели трудовой миграции, а также ее структуру. Стартовое состояние системы воспроизводило ситуацию 2013 г., а затем имитировался переход к следующему году, и агенты-мигранты заново оценивали привлекательность своей трудовой деятельности в ДФО, а агенты — жители китайской провинции решали, становиться ли им мигрантами. Выходным параметром модели считалась численность агентов-мигрантов.

Для каждого значения курса юаня проводилась серия экспериментов, так как результат зависит от многих случайных величин (например, в модели случайным образом назначается вид деятельности агентам и устанавливаются их родственные связи).

Снижение курса рубля при неизменных показателях предложения на рынке труда в России и Китае снижало и привлекательность рабочих мест в России. Хотя для специалистов в модели было сделано исключение — их заработок фиксировался в юанях по базовому состоянию.

Эксперимент показал адекватную реакцию модели на изменения значений управляемого параметра. То есть, в ходе эксперимента наблюдалось ожидаемое снижение общего ми-

грационного потока, которое не коснулось группы китайских специалистов, работающих в России. Так, при курсе 9,74 происходило снижение общей численности агентов-мигрантов не менее чем на 10,9 % относительно базового варианта, а при курсе 10,466 — уже более чем на 25 %. Причем в последнем случае мигрантами в основном становились безработные.

#### Эксперимент 2. Повышение информированности агентов

В ходе эксперимента менялась процедура поиска агентами информации для принятия миграционного решения, а именно, вся обобщающая информация о средней заработной плате по видам деятельности и уровню квалификации работников, как в Китае, так и в России, становилась доступной всем агентам независимо от уровня их собственной квалификации.

Повышение информированности агентов при неизменных параметрах рынка труда в обеих странах и при огромной разнице в численности их населения приводило к активному вовлечению в процессы трудовой миграции из Китая в Россию сельских жителей, заполнявших вакансии работников низкой квалификации. На наш взгляд, этот эксперимент также показал адекватную реакцию модели на введенные изменения.

Отличие этих экспериментов в том, что в первом случае речь шла об имитации возможного развития событий (в данном случае — наблюдаемого в последующие годы) для того, чтобы оценить последствия реализации такого сценария. В то время как во втором эксперименте наблюдались последствия изменения институциональной среды, которых можно достичь, например, с помощью создания системы информирования населения Китая об условиях работы и жизни в России, о необходимости создания которой говорится в работе Ян Хунмэй [18, с. 16].



## Заключение

Именно агент-ориентированный подход, построение имитационной системы «снизу вверх» на основе использования информации из самых разных источников, начиная от официальной статистики и заканчивая материалами социологических исследований и наблюдений отдельных экспертов, позволил учесть в модели особенности поведения людей, характерные для моделируемых регионов. При разработке нашей агент-ориентированной модели мы учитывали лучшие аналоги, однако имеются и отличия, связанные со стремлением максимально точно воспроизвести в модели неоднородность населения одновременно по нескольким параметрам. К тому же, агенты обладают достаточно сложной мотивацией — они не только руководствуются стремлением к работе, но выбирают также значимые для них

социальный статус и вид деятельности, причем сама эта значимость зависит от уровня образования агентов.

Модель, таким образом, является достаточно гибким инструментом, настраивая который можно учесть как объективные факторы, влияющие на реальные миграционные процессы, так и субъективные предпосылки миграции, действующие на уровне отдельного человека в соответствии с его личностными характеристиками.

В качестве направлений дальнейшего развития модели видится увеличение множества моделируемых регионов и соответствующее увеличение численности популяции агентов вплоть до реальной численности населения этих регионов. Эту задачу предполагается решать с помощью переноса модели на суперкомпьютер и реализации параллельных вычислений.

## Благодарность

*Исследование выполнено при поддержке российского научного фонда (грант № 16-18-10296).*

## Список источников

1. Вишневецкий А. Г. Воспроизводство населения и общество. История, современность, взгляд в будущее. — М.: Финансы и статистика, 1982. — 287 с.
2. Мишук С. Н. Особенности международной трудовой миграции из Китая в Россию. На примере Дальневосточного федерального округа // Экономика региона. — 2014. — № 2. — С. 194–203.
3. Макаров В. Л., Бахтизин А. Р. Социальное моделирование — новый компьютерный прорыв. Агент-ориентированные модели. — М.: Экономика, 2013. — 295 с.
4. Тарасов В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям. Философия, психология, информатика. — М.: Эдиториал УРСС, 2002. — 352 с.
5. Harris J. R., Todaro M. P. Migration, Unemployment and Development: A Two-Sector Analysis // American Economic Review. — 1970. — No 60. — P. 126–142.
6. Espíndola A. L., Silveira J. J., Penna T. J. P. A Harris-Todaro Agent-Based Model to Rural-Urban Migration // Brazilian Journal of Physics. — 2006. — Vol. 36. — No. 3A. — P. 603–609. DOI: 10.1590/S0103-97332006000500002.
7. Laing D., Park C., Wang P. A Modified Harris-Todaro Model of Rural-Urban Migration for China. [Electronic resource]. URL: [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) (дата обращения: 22.03.2017).
8. Naivinit W., Le Page C., Trébuil G., Gajasen N. Participatory agent-based modeling and simulation of rice production and labor migrations in Northeast Thailand // Environmental Modelling & Software. — 2010. — No 25(11). 1345–1358. DOI: 10.1016/j.envsoft.2010.01.012.
9. Demonstrating Complexity with a Role-playing Simulation: Investing in Water in the Indrawati Subbasin, Nepal / Janmaat J., Lapp S., Wannop T., Bharati L., Sugden F. International Water Management Institute, Sri Lanka. — 2015. — Research Report 163. [Electronic resource]. URL: [http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/IWMI\\_Research\\_Reports/PDF/pub163/tr163.pdf](http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/IWMI_Research_Reports/PDF/pub163/tr163.pdf) (дата обращения: 22.03.2017).
10. Heiland F. 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. — 2003. — P. 73–96. DOI: 10.1007/978-3-7908-2715-6\_5.
11. Pablo-Martí F., Santos J. S., Kaszowska J. An agent-based model of population dynamics for the European regions. Emergence: Complexity and Organization. [Electronic resource]. URL: <https://journal.emergentpublications.com/article/an-agent-based-model-of-population-dynamics-for-the-european-regions/> (дата обращения: 22.03.2017). DOI: 10.emerg/10.17357.2d9791afc384e40b47f02d089976c627.
12. Groen D. Simulating Refugee Movements: Where would you go? Procedia Computer Science. — 2016. — Vol. 80. — P. 2251–2255. [Electronic resource]. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050916308766> (дата обращения: 22.03.2017). DOI: 10.1016/j.procs.2016.05.400.
13. Sokolowski J. A., Banks C. M., Hayes R. L. Modeling population displacement in the Syrian city of Aleppo. Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference. — IEEE. — 2014. — P. 252–263. [Electronic resource]. URL: <http://www.informs-sim.org/wsc14papers/includes/files/023.pdf> (дата обращения: 22.03.2017).

14. Klabunde A., Zinn S., Leuchter M., Willekens F. An agent-based decision model embedded in the life course. Max Planck Institute for Demographic Research. Working Paper (WP 2015–002). [Electronic resource]. URL: <http://www.demogr.mpg.de/papers/working/wp-2015-002.pdf> (дата обращения: 22.03.2017).

15. Klabunde A. Computational Economic Modeling of Migration. Ruhr Economic Papers. — 2014. — #471. Ruhr Universität Bochum, Germany. [Electronic resource]. URL: <http://www.econstor.eu/dspace/bitstream/10419/93072/1/779444728.pdf> (дата обращения: 22.03.2017). DOI: 10.4419/86788531.

16. Ларин А. Г. Китайские мигранты в России. История и современность. — М.: Восток–Запад. 2009. — 511 с.

17. Ларин А. Г. Жизнь в России глазами китайских мигрантов [Электронный ресурс]. URL: <http://polit.ru/article/2008/10/20/demoscope347/> (дата обращения 22.03.2017).

18. Хунмэй Я. Китайская миграция в Россию. Тенденции, последствия и подходы к регулированию : дис. ... канд. экон. наук : 08.00.14 / Ян Хунмэй; [Место защиты: Рос. ун-т дружбы народов]. — М., 2008. — 153 с.

19. Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д. Имитация особенностей репродуктивного поведения населения в агент-ориентированной модели региона // Экономика региона. — 2015. — № 3. — С. 312–322. DOI: 10.17059/2015-3-25.

### Информация об авторах

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

**Бахтизин Альберт Рауфович** — доктор экономических наук, член-корреспондент РАН, профессор, заместитель директора, Центральный экономико-математический институт РАН (Российская Федерация, 117418, г. Москва, Нахимовский пр-т, 47; e-mail: albert.bakhtizin@gmail.com).

**Сушко Елена Давидовна** — кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник, Центральный экономико-математический институт РАН (Российская Федерация, 117418, г. Москва, Нахимовский пр-т, 47; e-mail: sushko\_e@mail.ru).

**Агеева Алина Фагимовна** — кандидат архитектуры, ведущий инженер, Центральный экономико-математический институт РАН (Российская Федерация, 117418, г. Москва, Нахимовский пр-т, 47; e-mail: ageevaalina@yandex.ru).

For citation: Makarov, V. L., Bakhtizin, A. R., Sushko E. D. & Ageeva, A. F. (2017). Agent-Based Approach for Modelling the Labour Migration from China to Russia. *Ekonomika regiona [Economy of Region]*, 13(2), 331-341

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

Central Economics and Mathematics Institute of RAS (Moscow, Russian Federation; e-mail: sushko\_e@mail.ru)

### Agent-Based Approach for Modelling the Labour Migration from China to Russia

*The article describes the process of labour migration from China to Russia and shows its modelling using the agent-based approach. This approach allows us to simulate an artificial society in a computer program taking into account the diversity of individuals under consideration, as well as to model a set of laws and rules of conduct that make up the institutional environment in which the members of this society live. A brief review and analysis of agent-based migration models presented in the foreign literature are given. The agent-based model of labour migration from China to Russia developed by the Central Economic Mathematical Institute of the Russian Academy of Sciences simulates human behaviour close to reality, which is based on their internal purposes, determining the agents choice of territory as a place of residence. Therefore, at the development of the agents of the model and their behaviour algorithms, as well as the organization of the environment in which they exist and interact, the main characteristics of the population of two neighbouring countries and their demographic processes have been considered. Using the model, two experiments have been conducted. The purpose of the first of them was to assess the effect of depreciation of the ruble against the yuan on the overall indexes of labour migration, as well as its structure. In the second experiment, the procedure of the search of the information by agents for the migratory decision-making was changing. Namely, all generalizing information on the average salary by types of activity and skill level of employees, both in China and Russia, became available to all agents irrespective of their qualification level.*

**Keywords:** agent-based modelling, software, demography, international migration, labour migration, types of population reproduction, population size of the region, age and gender structure of the population, forecasting, Russian-Chinese relations

### Acknowledgements

*The article has been prepared with the support of the Russian Science Foundation (Grant № 16-18-10296).*

### References

1. Vishnevskiy, A. G. (1982). *Vosproizvodstvo naseleniya i obshchestvo: Istoriya, sovremennost, vzglyad v budushcheye [The reproduction of the population and society: history, modernity and vision for the future]*. Moscow: Finansy i statistika Publ., 287. (In Russ.)

2. Mishhuk, S. N. (2014). Osobennosti mezhdunarodnoy trudovoy migratsii iz Kitaya v Rossiyu (na primere Dalnevostochnogo federalnogo okruga) [Features of international labor migration from China to Russia (by the example of Far Eastern Federal District)]. *Ekonomika regiona [Economy of region]*, 2, 194–203. (In Russ.)

3. Makarov, V. L. & Bakhtizin, A. R. (2013). *Sotsialnoye modelirovaniye — novyy kompyuternyy proryv. Agent-orientirovannyye modeli [Social simulation is a new computer breakthrough. Agent-based models]*. Moscow: Ekonomika Publ., 295. (In Russ.)
4. Tarasov, V. B. (2002). *Ot mnogoagentnykh sistem k intellektualnym organizatsiyam: filosofiya, psikhologiya, informatika [From multi-agent systems to intellectual organizations: philosophy, psychology, computer science]*. Moscow: Editorial URSS Publ., 352. (In Russ.)
5. Harris, J. R. & Todaro, M. P. (1970). Migration, Unemployment and Development: A Two-Sector Analysis. *American Economic Review*, 60, 126–142.
6. 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. DOI: 10.1590/S0103–97332006000500002.
7. Laing, D., Park, C., Wang, P. (2005). *A Modified Harris-Todaro Model of Rural-Urban Migration for China*. Retrieved from: [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) (date of access: March 22, 2017).
8. Naivinit, W., Le Page, C., Trébuil, G. & Gajaseini, 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.
9. 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. Retrieved from: [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) (date of access: March 22, 2017).
10. 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. DOI: 10.1007/978–3–7908–2715–6\_5.
11. Pablo-Marti, F., Santos, J. S. & Kaszowska, J. (2015). *An agent-based model of population dynamics for the European regions*. Emergence: Complexity and Organization. Retrieved from: <https://journal.emergentpublications.com/article/an-agent-based-model-of-population-dynamics-for-the-european-regions/> (date of access: March 22, 2017). DOI: 10.emerg/10.17357.2d9791afc384e40b47f02d089976c627.
12. Groen, D. (2016). *Simulating Refugee Movements: Where would you go?* Procedia Computer Science, 80, 2251–2255. Retrieved from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050916308766> (date of access: March 22, 2017). DOI: 10.1016/j.procs.2016.05.400.
13. 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. pp. 252–263. Retrieved from: <http://www.informs-sim.org/wsc14papers/includes/files/023.pdf> (date of access: March 22, 2017).
14. 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). Retrieved from: <http://www.demogr.mpg.de/papers/working/wp-2015-002.pdf>. (date of access: March 22, 2017).
15. Klabunde, A. (2014). *Computational Economic Modeling of Migration*. Ruhr Economic Papers #471. Ruhr Universität Bochum, Germany. Retrieved from: <http://www.econstor.eu/dspace/bitstream/10419/93072/1/1779444728.pdf> (date of access: March 22, 2017). DOI: 10.4419/86788531.
16. Larin, A. G. (2009). *Kitayskie migranty v Rossii. Istoriya i sovremennost [Chinese migrants in Russia. History and the present]*. Moscow: Vostok–Zapad Publ., 11. (In Russ.)
17. Larin, A. G. *Zhizn v Rossii glazami kitayskih migrantov [Life in Russia through the eyes of Chinese migrants]*. Retrieved from: <http://polit.ru/article/2008/10/20/demoscope347/> (date of access: March 22, 2017).
18. Hunmeyer, J. (2008). *Kitayskaya migratsiya v Rossiiyu: tendentsii, posledstviya i podkhody k regulirovaniyu [Chinese migration to Russia: trends, consequences and approaches to regulation: PhD thesis]*. Moscow, 153. (In Russ.)
19. Makarov, V. L., Bahtizin, A. R. & Sushko, E. D. (2015). Imitatsiya osobennostey reproduktivnogo povedeniya naseleeniya v agent-orientirovannoy modeli regiona [Simulating reproductive behavior of region's population with agent-based model]. *Ekonomika regiona [Economy of region]*, 3, 312–322. DOI: 10.17059/2015–3–25.

## Authors

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

**Albert Raufovich Bakhtizin** — Doctor of Economics, Corresponding Member of RAS, Professor, Deputy Director, Central Economics and Mathematics Institute of RAS (47, Nakhimovsky Ave., Moscow, 117418, Russian Federation; e-mail: albert.bakhtizin@gmail.com).

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

**Alina Fagimovna Ageeva** — PhD in Architecture, Advanced Engineer, Central Economics and Mathematics Institute of RAS (47, Nakhimovsky Ave., Moscow, 117418, Russian Federation; e-mail: ageevaalina@yandex.ru).