

МИГРАЦИЯ. ЭКОНОМИКА. СОЦИОЛОГИЯ

УДК: 314.7.044

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ МИГРАЦИОННОЙ ДИНАМИКИ: АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД

М.Ю. Хавинсон, А.Н. Колобов

Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН,
ул. Шолом-Алейхема 4, г. Биробиджан, 679016,
e-mail: havinson@list.ru, alex_0201@mail.ru

Статья посвящена исследованию миграции населения на региональном уровне методом имитационного моделирования. Построена агент-ориентированная модель миграции населения между тремя регионами с различными показателями экономической, социальной и экологической привлекательности. Проведено исследование динамики численности агентов, которые перемещаются между регионами в зависимости от индивидуальной стратегии максимизации одного или двух показателей привлекательности. В результате моделирования установлено, что наличие различных стратегий выбора мигрантами региона приводит к периодическим режимам миграционной динамики.

Ключевые слова: миграция, численность населения, регион, агент-ориентированное моделирование, периодические колебания.

Введение

Миграция является составной частью демографических процессов, определяющих не только количество, но и качество населения территории [6]. Даже в случае, когда миграционное сальдо региона или страны близко к нулю, происходит частичное замещение местного населения на мигрантов, зачастую являющихся носителями иной культуры, имеющих другой уровень образования и квалификацию. Миграционные процессы неизбежно приводят к сложной социокультурной и экономической трансформации территорий, поэтому анализ и прогнозирование механического движения населения не теряет актуальности в аспекте фундаментальных и прикладных научных исследований [2].

Традиционные подходы в изучении миграции базируются на выявлении качественных и количественных оценок связи миграции и социально-экономических процессов. В таких подходах предполагается, что макроэкономические тенденции формируют миграционные потоки, и в ряде случаев (особенно связанных с трудовой миграцией) это подтверждается эмпирически [1, 10, 15]. Несмотря на это, не выявлено строгой универсальной зависимости между динамикой социально-экономических показателей и миграцией населения [12].

Задача повышения эффективности аналитико-прогнозного инструментария миграции может быть решена с учетом анализа миграционного поведения. Релевантным методом для решения этой задачи является агент-ориентированное моделирование, на основе которого в социальных науках удалось объяснить феномен расовой сегрегации [16], распространение мнений и идеологий [14], поведение потребителей [7] и т.д. Ключевой идеей агент-ориентированного подхода является формирование социально-экономических тенденций макроуровня из совокупного поведения множества различных агентов [3, 9].

Изучение миграции методом агент-ориентированного моделирования начато сравнительно недавно. Одним из представителей отечественных научных школ этого направления является коллектив Центрального экономико-математического института РАН под руководством В.Л. Макарова и А.Р. Бахтизина [4]. Коллективом разработана демографическая модель, в которой миграция моделируется путем сочетания общих алгоритмов выбора агентами регионов с наилучшим уровнем экономического развития, низким уровнем безработицы и вероятностных характеристик (например, наличие семьи). Другим представителем направления исследования миграции методом агент-ориентированного моделирования является коллектив

Дальневосточного федерального университета под руководством Ю.Д. Шмидта [13]. В работе этого коллектива используется сочетание клеточного автомата и вероятностных процессов. В зарубежных исследованиях агент-ориентированные модели миграции также содержат различные критерии выбора территории мигрантами [4, 8].

Общими характеристиками современных агент-ориентированных моделей миграции является их прикладная направленность и учет многих экзогенных и эндогенных факторов движения населения. С одной стороны, такие подробные модели позволяют решать конкретные прикладные задачи, но, с другой стороны, сложность моделей не всегда позволяет выявить общие фундаментальные закономерности. В этом аспекте представляет отдельный интерес то, могут ли агенты с определенными стратегиями поведения формировать сложную (и при этом прогнозируемую) демографическую динамику. В частности, возможно ли с помощью агент-ориентированного моделирования качественно описать наблюдаемые на практике циклические колебания миграции [12] без введения в модель экзогенного циклического фактора.

Описание агент-ориентированной модели

Для исследования динамических режимов численности населения, формируемых только стратегиями миграционного поведения и неизменяемыми внешними условиями, рассмотрим гипотетическую систему трех регионов с агентами, мигрирующими между этими регионами. В данной модели выделены шесть возрастных групп агентов: 16–23 года, 24–31 год, 32–39 лет, 40–47 лет, 48–55 лет, 56–63 года. На каждый возраст с шагом 1 год приходится по три агента, что составляет 144 агента. В результате численных экспериментов нами определено, что такая численность агентов достаточна для описания различных режимов динамики. У представителей каждой возрастной группы есть стратегия миграционного движения по регионам с целью максимизации одного из трех индексов привлекательности региона: экономического, социального или экологического. Выделение именно таких индексов соответствует общей практике моделирования миграции [1, 13]. Каждый регион оценен по трехбалльной шкале (А – наивысший класс, В – средний класс, С – низкий класс) для каждого индекса привлекательности. Оценки выбраны таким образом, чтобы каждый регион лидировал только по одному индексу (табл. 1). Представляет интерес, как будут распределяться агенты по регионам в результате реализации групповых стратегий и линейного

Таблица 1

Оценки каждого региона по трехбалльной шкале исходя из индексов экономической, социальной и экологической привлекательности

Table 1

Assessment of each region on a three-point scale, based on the indices of economic, social and environmental attractiveness

Индекс привлекательности	1 регион	2 регион	3 регион
Экономической	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
Социальной	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>A</i>
Экологической	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>B</i>

изменения численности различных возрастных групп.

Рассмотрены шесть стратегий выбора региона, которые подразделяются на чистые и смешанные (табл. 2). Чистые стратегии (1-3) заключаются в стремлении мигранта выбрать регион только с одним наивысшим индексом привлекательности. Смешанные стратегии (4-6) заключаются в желании агента выбрать регион, максимально удовлетворяющий двум индексам привлекательности: экономическому и социальному, экономическому и экологическому, экологическому и социальному. Также полагается, что для каждой возрастной группы агентов характерна одна стратегия поведения. Перемещение мигрантов между регионами осуществляется через определенный промежуток времени исходя из выбора и реализации конкретной стратегии. Например, агенты 32–39 лет стремятся выбрать регион с наивысшим индексом экономической привлекательности (стратегия 1). Для этого они последовательно перемещаются в первый регион, который имеет наибольшее значение данного индекса по сравнению с остальными.

Таким образом, алгоритм агент-ориентированной модели можно записать в следующем виде:

1. Заполняем массив с агентами для каждого региона (табл. 3).
2. Задаем значение T – прогнозный период моделирования, с шагом один год.
3. Рассматриваем первого агента.
4. Если возраст агента больше A_{max} (в данном случае $A_{max}=63$), то замещаем его на A_{min} – летнего агента (A_{min} не обязательно должен быть минимальный возраст, это может быть любое значение, меньшее A_{max}).
5. Если агент перешел в следующую возрастную группу, то меняем его стратегию (см.

Стратегии миграции по регионам	Возрастная группа	Первый шаг (регион)	Второй шаг (регион)	Третий шаг (регион)
1 – наивысший индекс экономической привлекательности	32–39	3	2	1
2 – наивысший индекс социальной привлекательности	24–31	2	1	3
3 – наивысший индекс экологической привлекательности	16–23	1	3	2
4 – наивысший индекс экономической и социальной привлекательности	48–55	2 или 3	1	-
5 – наивысший индекс экономической и экологической привлекательности	40–47	3 или 1	2	-
6 – наивысший индекс социальной и экологической привлекательности	56–63	1 или 2	3	-

табл. 2).

6. Если агент определенное количество времени N (лет) находится в одном регионе, то осуществляем переход в следующий регион согласно текущей стратегии агента (см. табл. 2), где N – шаг перехода.

7. Увеличиваем возраст агента на один год.

8. Переходим к следующему агенту, если рассмотрели не всех агентов, то возвращаемся к пункту 4.

9. Записываем данные о каждом агенте в отдельный массив.

10. На этом заканчивается один шаг моделирования, переходим к следующему шагу и, если не достигли значения T , то возвращаемся к пункту 3.

11. Вывод статистических данных.

Для реализации этого алгоритма на ЭВМ написана соответствующая программа на языке Delphi 7.0. Она позволяет строить прогнозные сценарии динамики численности агентов и выводить статистические данные по всем регионам для

каждой возрастной группы. Отметим, что данная модель полностью детерминирована и результат каждого вычислительного эксперимента однозначен.

Результаты вычислительных экспериментов

Рассмотрим результаты вычислительных экспериментов, полученных на основе предложенной модели. Для того чтобы исключить влияние на динамику численности начального распределения агентов, в качестве исходных данных рассмотрено равномерное распределение разновозрастных агентов каждого региона (табл. 3). В модели использовался равномерный шаг перехода в другой регион, равный $N=2$ года. В модели принято, что каждые два года агенты переходят в другой регион согласно текущей стратегии поведения. Вычислительные эксперименты показали качественную идентичность результатов при разной длине шагов перехода.

В модели принято, что агенты старше 63 лет выводятся из системы и замещаются на агентов

№ агента	1	2	...	48	46	47	...	96	91	92	...	144
Возраст	16	17	...	63	16	17	...	63	16	17	...	63
Регион	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3

других возрастных групп. При замещении агентов старше 63 лет на 16-летних через некоторый временной интервал получаем стационарные значения численности рассматриваемых групп населения трех регионов (рис. 1). При этом регионы 2 и 3 оказываются конкурирующими, и регион 2 «перетягивает» на себя часть населения региона 3. Это объясняется тем, что согласно соответствующей стратегии поведения агенты 63 лет концентрируются в 3 регионе и замещаются на 16-летних, которые все перемещаются на место выбывших в 3-й регион (в начальном распределении их численность одинакова во всех трех регионах). Затем все 18-летние согласно их стратегии поведения сразу оказываются в регионе 2, не задерживаясь в регионе 3 (см. табл. 2).

Далее проведена серия численных экспериментов, направленная на изучение динамики численности рассматриваемых групп населения в трех модельных регионах при условии замещения 63-летних агентов на агентов различных возрастных групп. Такая ситуация может сложиться, например, вследствие соответствующей миграционной политики. В итоге получено, что при замещении 63-летних агентов 24-летними из рассматриваемой системы постепенно «выводится» когорта 16–23 лет и в численности населения трех модельных регионов наблюдаются периодические колебания (рис. 2а). Похожие колебания наблюдаются при замещении агентов 63 лет агентами различных возрастных групп (рис. 2б, в). При этом замещение 40-летними агентами приводит к возникновению в системе неожиданного эффекта,

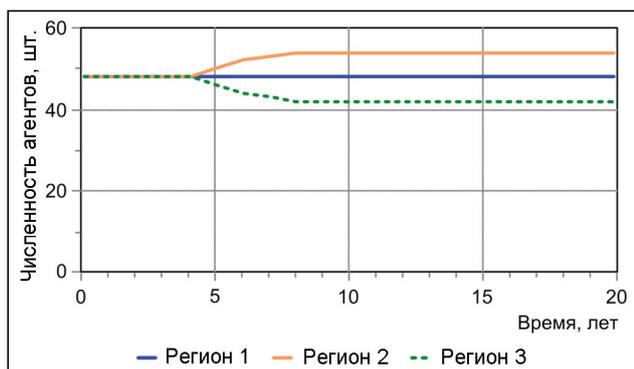


Рис. 1. Динамика численности населения в трех модельных регионах при замещении 63-летних агентов на 16-летних

Fig. 1. Population dynamics in three model regions when replacing 63-year-olds with 16-year-olds

когда численность населения трех модельных регионов достигает одинаковых стационарных значений. Замещение агентами старше 40 лет также приводит к периодическим колебаниям. В процессе замещения 63-летних на 52-летних и старше также наблюдается достижение стационарного значения, но с обнулением численности одного или двух модельных регионов (рис. 2д, е).

Таким образом, при равномерном распределении численности населения численность агентов в модельных регионах достигает стационарных значений. При замещении 63-летних на агентов старше 16 лет наблюдаются как периодические, так и стационарные режимы динамики с возможным обнулением численности населения одного или двух модельных регионов. Такие режимы динамики численности населения связаны с нарушением баланса стратегий в системе. Выведение отдельных возрастных групп из системы производит «провалы» численности населения. Если это выведение групп из системы носит долгосрочный характер, то «провалы» приобретают характер периодических колебаний, в том числе и в возрастной структуре (рис. 3).

Следует еще раз подчеркнуть, что в описанной модели число агентов неизменно, т.е. не учитываются особенности естественного движения населения. В реальной системе могут происходить колебания рождаемости и смертности, моделирование которых является отдельной нетривиальной задачей. При этом, как показано в работе [11], период колебаний, связанных с естественным движением населения, может быть значительно больше периода колебаний в миграционных процессах. Это означает, что в данной модели для конкретного региона или страны могут наблюдаться колебания численности населения с разным периодом, образуемые в результате суперпозиции демографических волн разной длины. Кроме того, в проведенных численных экспериментах был обнаружен интересный эффект: при вытеснении агентов одной возрастной группы во всех модельных регионах динамика численности агентов описывается ломаной линией (рис. 2а), при этом вытеснение агентов разных возрастных групп в каждом модельном регионе соответственно приводит к сглаживанию данной модельной кривой (рис. 2б, в). Этот эффект дает основание полагать, что более детальный учет демографических и социально-экономических процессов в модели для конкретного региона даст возможность описать широкий спектр динамических режимов.

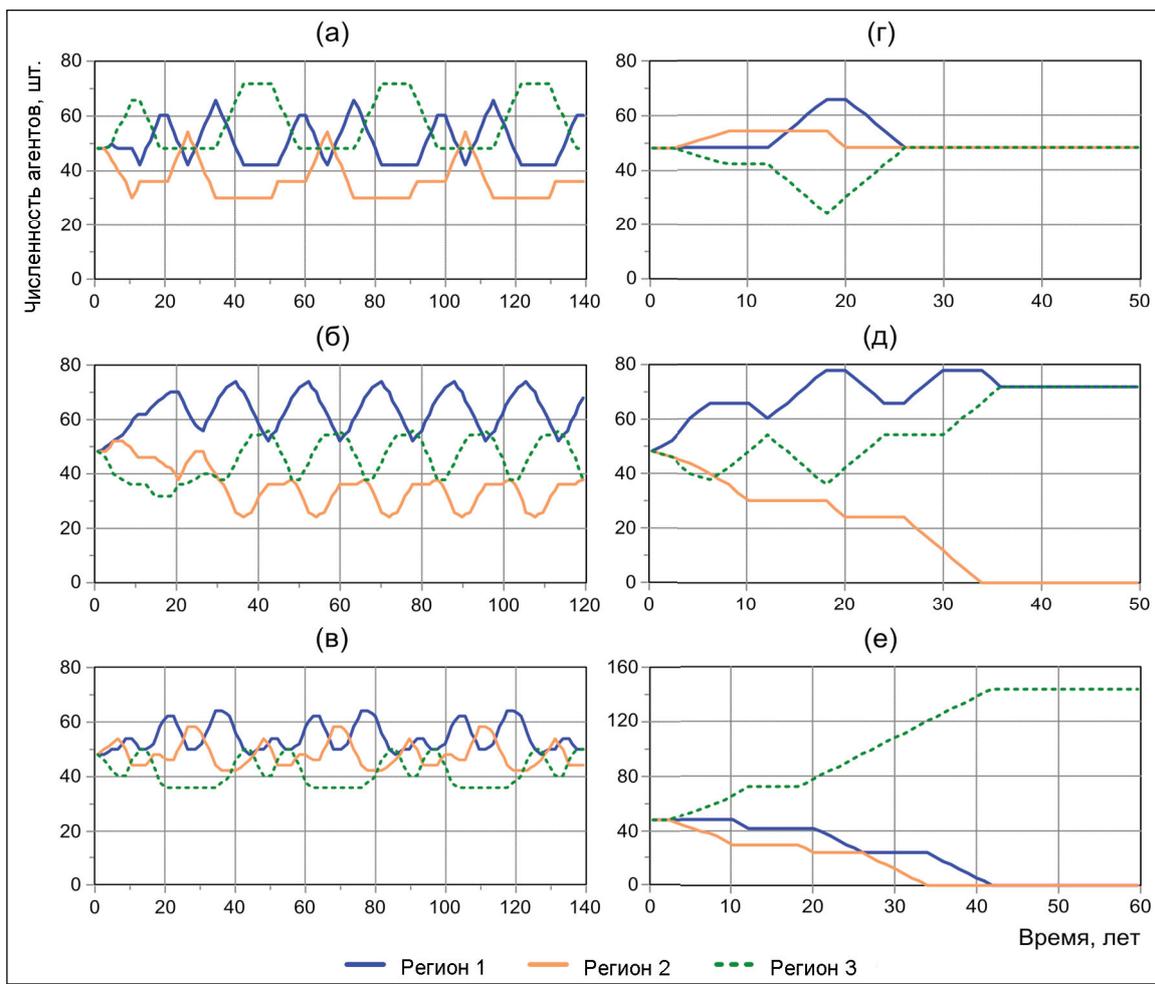


Рис. 2. Динамика численности населения в трех модельных регионах при замещении 63-летних агентов на агентов различных возрастных групп: а) 24-летних во всех трех регионах; б) 36-, 34-, 46-летних в первом, втором и третьем регионах соответственно; в) 16-, 24-, 22-летних в первом, втором и третьем регионах соответственно; г, д, е) 40-, 52- и 56-летних во всех трех регионах

Fig. 2. Population dynamics in three model regions when replacing 63-year-old agents with agents of different age groups: a) 24-year-olds in all three regions; b) 36-, 34-, 46-year-olds in the first, second and third regions respectively; c) 16-, 24-, 22- in the first, second and third regions respectively; d, e, f) 40-, 52- and 56-year olds in all three regions

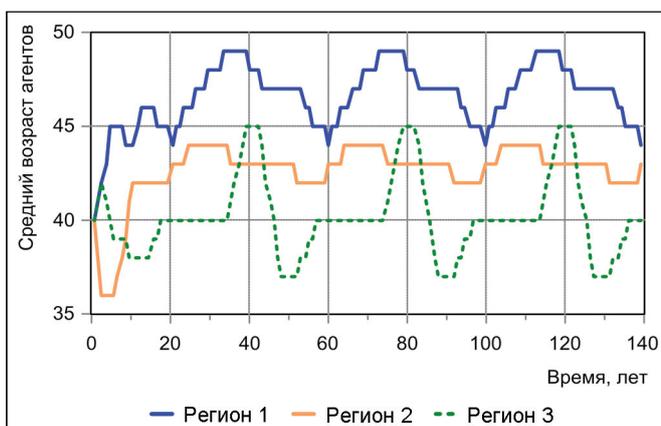


Рис. 3. Динамика среднего возраста агентов по регионам в модели при замещении 63-летних агентов на 24-, 16-, 24-летних мигрантов в первом, втором и третьем регионах соответственно

Fig. 3. Dynamics of the average age of agents by regions in the model when replacing 63-year-old agents with 24-, 16-, 24-year-old migrants in the first, second and third regions respectively

Заключение

Таким образом, результаты моделирования позволяют утверждать, что наличие различных стратегий выбора мигрантами региона в совокупности даже с линейным изменением возрастной структуры в регионах действительно может вызывать перераспределение численности населения, приводящее к периодическим режимам динамики. При этом отсутствие в модели экзогенных факторов в виде экономических циклов (и в этом смысле ее «рафинированность») ясно демонстрирует эндогенный характер колебаний. Результаты данного исследования качественно объясняют отсутствие в ряде случаев значимой корреляции между социально-экономической динамикой и миграцией.

Исходя из полученных результатов, также можно утверждать, что игнорирование учета стратегий миграционного поведения приводит к безрезультативной миграционной политике. Например, программа по переселению соотечественников никак не повлияла на сокращение численности населения Дальнего Востока [5].

Дальнейшее развитие настоящего исследования может заключаться в изучении, с одной стороны, сложных режимов динамики численности мигрантов, исходя из стратегий миграционного поведения, с другой стороны, в дальнейшей детализации модели для прогнозирования демографической динамики на региональном уровне.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 19-010-00206.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Дмитриев М.Г., Юдина Т.Н. Миграционные процессы: модели анализа и прогнозирования (обзор) // Труды ИСА РАН. 2017. Т. 67, № 2. С. 3–14.
2. Иноземцев В.Л. Иммиграция в современном мире: новая проблема нового столетия. URL: <http://www.demoscope.ru/weekly/2003/0121/analit01.php> (дата обращения: 16.10.2019).
3. Лебедюк Э.А. Агентное моделирование: состояние и перспективы // Вестник РЭУ им. Г.В. Плеханова. 2017. № 6 (96). С. 155–162.
4. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д. Моделирование демографических процессов с использованием агент-ориентированного подхода // Федерализм. 2014. № 4 (76). С. 37–46.
5. Мищук С.Н., Тайорова М.А., Беспалова Н.В. Переселение соотечественников в Дальневосточный федеральный округ: проблемы и их решения // Власть и управление на Востоке России. 2014. № 2 (67). С. 54–61.
6. Мкртчян Н.В. О влиянии миграции на возрастную состав населения регионов, городов и районов России // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. М.: Макс Пресс, 2014. Т. 12. С. 381–396.
7. Порфирьев Е.Е. Моделирование поведения экономических агентов для совершенствования управления поведением потребителей // Ars Administrandi. Искусство управления. 2015. № 4. С. 33–40.
8. Флорида Р. Кто твой город? Креативная экономика и выбор места жительства. М.: Strelka Press, 2014. 368 с.
9. Хавинсон М.Ю., Колобов А.Н. Моделирование динамики численности занятого населения в отраслях экономики: агент-ориентированный подход // Компьютерные исследования и моделирование. 2018. Т. 10, № 6. С. 919–937.
10. Хавинсон М.Ю., Лосев А.С. Демографический прогноз с учетом моделирования нелинейной динамики численности занятого и безработного населения // Региональные проблемы. 2019. Т. 22, № 3. С. 88–97.
11. Хавинсон М.Ю. Моделирование нелинейной динамики уровня занятости в регионе (на примере регионов юга Дальнего Востока России) // Вестник Пермского университета. Серия: Экономика. 2017. Т. 12, № 4. С. 575–591.
12. Цапенко И.П. Экономический цикл и международная миграция населения // Мировая экономика и международные отношения. 2011. № 8. С. 31–42.
13. Шмидт Ю.Д., Ивашина Н.В., Лободин П.Н., Кухлевский А.Л. Прогнозирование межрегиональных миграционных потоков // Экономика региона. 2017. Т. 13, № 1. С. 126–136.
14. Deffuant G., Amblard F., Weisbuch G., Faure T. How Can Extremism Prevail? A Study Based on the Relative Agreement Interaction Model // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2002. Vol. 5, N 4. URL: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/5/4/1.html> (дата обращения: 1.11.2019).
15. Khavinson M.Y., Kulakov M.P. Gravitational model of population dynamics // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. 2017. Т. 10. № 3. С. 80–93.
16. Schelling T. Micromotives and Macrobehavior. New York, London: WW Norton and Company, 1978. 242 p.

MODELING OF PERIODIC OSCILLATIONS OF MIGRATION DYNAMICS: THE AGENT-ORIENTED APPROACH

M.Yu. Khavinson, A.N. Kolobov

The article is devoted to the study of population migration at the regional level with the method of simulation. The authors built an agent-oriented model of population migration between three regions with different indicators of economic, social and environmental attractiveness. They studied the dynamics of the number of agents moving between the regions dependent on the individual strategy of maximizing one or two indicators of attractiveness. The simulation shows that the presence of various strategies for the choice of the region by migrants leads to periodic modes of migration dynamics.

Keywords: *migration, population, region, agent-based modeling, periodic fluctuations.*