

ДЕМОГРАФИЯ

УДК: 314.7.044

НЕРЕГУЛЯРНАЯ ДИНАМИКА В АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННОЙ МОДЕЛИ МИГРАЦИИ

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 моделированию динамики миграции на региональном уровне. В условиях перехода к постиндустриальному обществу миграция населения становится более динамичной, что требует совершенствования подходов к ее прогнозированию, значимым становится исследование личных стратегий выбора агентами времени миграции и принимающего региона. Наличие различных стратегий агентов приводит к появлению страт мигрантов с динамично изменяющейся численностью, неравномерно распределенной между принимающими регионами. В результате этого могут наблюдаться нелинейные колебания численности мигрантов, для исследования которых релевантен инструментарий имитационного моделирования.

Настоящее исследование посвящено изучению сложной динамики миграционных процессов методом агент-ориентированного моделирования. Моделирование основано на предположении о том, что мигрант при выборе региона руководствуется стратегией, характерной для его возрастной группы, что в итоге влияет на распределение численности мигрантов различных когорт и общую численность мигрантов в регионе. При этом стратегия определяется исходя из социально-экономических характеристик регионов: различного уровня экономической, социальной и экологической привлекательности.

Была выдвинута гипотеза о том, что различные стратегии миграционного поведения могут приводить к сложной динамике миграционных процессов. Для проверки гипотезы построена базовая агент-ориентированная модель миграции между тремя регионами, в которой учтены различные стратегии миграционного поведения агентов, включающие выбор региона с наибольшей экономической, социальной или экологической привлекательностью.

В результате численных экспериментов показано, что наличие различных стратегий выбора региона в совокупности с изменением возрастной структуры мигрантов приводит к периодическим и сложным режимам миграционной динамики. Найдены условия, при которых в модели возникает сложная динамика в кратко- и среднесрочном периодах.

Ключевые слова: миграция, агент-ориентированное моделирование, нерегулярная динамика, прогнозирование.

Образец цитирования: Хавинсон М.Ю., Колобов А.Н. Нерегулярная динамика в агент-ориентированной модели миграции // Региональные проблемы. 2021. Т. 24, № 1. С. 34–39. DOI: 10.31433/2618-9593-2021-24-1-34-39.

Введение

Миграционные процессы оказывают существенное влияние на многие сферы жизни общества, поэтому научно-практический интерес к анализу и прогнозированию механического движения населения не ослабевает до сих пор [1, 2, 5–7, 12]. Современный мир имеет беспрецедентно

развитые транспортную и информационную сети, способствующие мобильности населения и формированию новых особенностей миграции [9].

В своих работах по социодинамике В. Вайд-лих показал, что миграции между тремя и более регионами могут приводить к хаотической динамике и, как следствие, к значительному сокращению

горизонта прогноза численности мигрантов [15]. В. Вайдлих использовал для моделирования миграции системы дифференциальных уравнений, рассматривая миграцию как потоки, движущиеся по направлениям, заданным целевыми функциями. Современное моделирование обогатилось еще одним методом, позволяющим взглянуть на процессы не только с точки зрения потоков, но и с точки зрения участников. Этим методом является агент-ориентированное моделирование, в котором поведение каждого участника (агента) задается алгоритмом, позволяющим гибко комбинировать различные математические подходы и формализовать широкий спектр особенностей поведения агентов [3, 4, 8, 14].

Для фундаментального исследования миграции через призму миграционного поведения нами была построена базовая агент-ориентированная модель [11]. Один из основных вопросов, ответ на который является полезным для прогнозирования, – могут ли относительно простые алгоритмы поведения агентов в совокупности формировать сложную миграционную динамику? В данном исследовании осуществлялся поиск ответа на этот вопрос.

Описание модели

В указанной модели рассмотрены 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 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. Рассмотрены шесть стратегий выбора региона, которые подразделяются на чистые и смешанные. Чистые стратегии заключаются в стремлении мигранта выбрать регион только с одним наивысшим индексом привлекательности. Смешанные стратегии заключаются в желании агента выбрать регион, максимально удовлетворяющий двум индексам привлекательности:

экономическому и социальному, экономическому и экологическому, экологическому и социальному. Перемещение мигрантов между регионами осуществляется через определенный промежуток времени исходя из выбора и реализации конкретной стратегии (в модели это 1, 2 года или 5 лет).

Численное исследование нерегулярной динамики в модели

В исследовании интерес представляло изменение возрастной структуры численности мигрантов и последующее изменение динамических режимов миграции вследствие реализации стратегий миграционного поведения. Так, если в модель ввести ограничение на миграцию некоторых возрастных групп, то наблюдается изменение баланса стратегий миграции, приводящее к сложной динамике. Например, при отсутствии миграции агентов 16–23 лет наблюдаются периодические колебания численности мигрантов в модельных регионах (рис. 1).

В проведенных численных экспериментах наблюдаются колебания с периодом 10 и более лет. Найдем для модели условия, при которых будут получены среднесрочные колебания.

В описанном выше алгоритме мы приняли то, что характеристики регионов с течением времени остаются неизменными. Изменим алгоритм таким образом, чтобы регионы дискретно меняли ранг характеристик. Выберем наиболее простое правило изменения характеристик: с каждым шагом столбец характеристик сдвигается вправо (табл.).

В результате учета нескольких факторов – стратегии выбора региона, замещения мигрантов

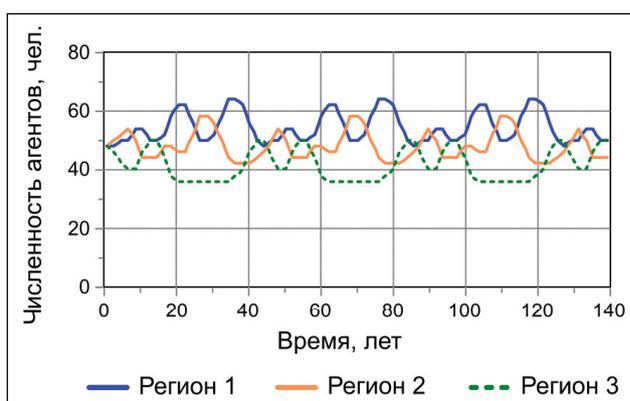


Рис. 1. Сложные периодические колебания в модели

Fig. 1. Complex periodic oscillations in the model

Алгоритм изменения характеристик регионов в модели

Таблица

Algorithm for changing the characteristics of regions in the model

Table

Индекс привлекательности региона	Шаг 1			Шаг 2			Шаг 3		
	1*	2	3	1	2	3	1	2	3
Экономической	A	B	C	C	A	B	B	C	A
Социальной	B	C	A	A	B	C	C	A	B
Экологической	C	A	B	B	C	A	A	B	C

Примечание: * – цифрами обозначены порядковые номера модельных регионов

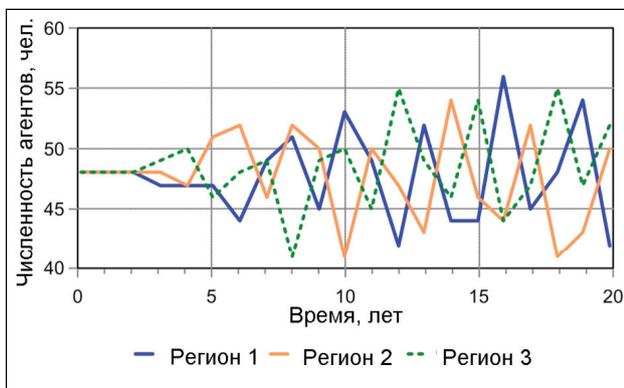


Рис. 2. Короткопериодные колебания численности мигрантов по регионам в модели с шагом изменения характеристик регионов – 1 год

Fig. 2. Short-term fluctuations in the number of migrants in the regions, in the model with a 1-year step of changes in the characteristics of regions

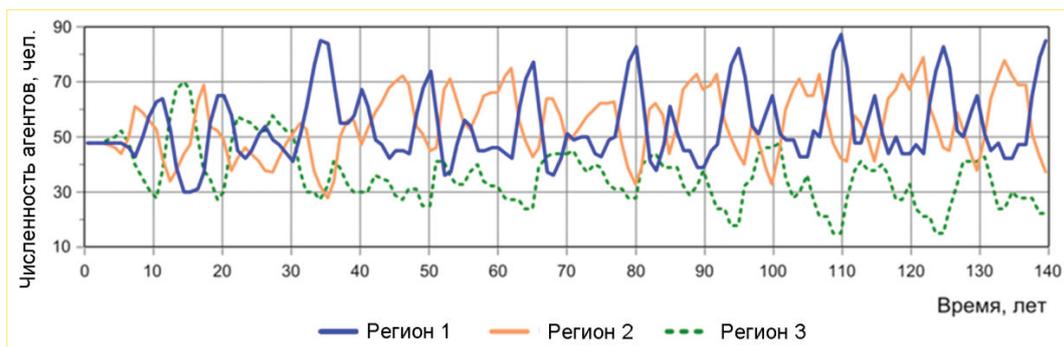


Рис. 3. Короткопериодные колебания численности мигрантов по регионам в модели с шагом изменения характеристик регионов – 5 лет

Fig. 3. Short-term fluctuations in the number of migrants by regions in the model with a 5-year step of changes in the characteristics of regions

разных возрастных групп и изменения характеристик регионов – в модели появляется нерегулярная динамика со средне- и краткосрочными колебаниями. На рис. 2 и 3 показаны короткопериодные колебания численности мигрантов в модели при изменении характеристик регионов с шагом 1 и 5 лет. Из графиков видно, что при увеличении шага изменения характеристик регионов увеличивается период колебаний.

Схожие колебания наблюдаются при рассмотрении численности агентов по возрастным группам (рис. 4).

Обнаруженные колебания также прослеживаются в модельных данных среднего возраста агентов по регионам (рис. 5). Отметим, что появление таких режимов динамики очень сходно с хаосом в относительно простых дискретных моделях [10]. Основную сложность в содержательной интерпретации нерегулярных колебаний при современном уровне развития теории динамических систем представляет отсутствие простых критериев перехода от порядка к циклам и хаосу – сложные режимы динамики обнаруживаются, как правило, численно [8]. Несмотря на это, несомненной пользой исследований нерегулярных режимов динамики миграции (равно как и других социально-экономических и демографических процессов) является, во-первых, сам факт обнаружения такой динамики в моделях, а значит, вероятно, и в самом исследуемом процессе, во-вторых, более детальное исследование механизмов смены режимов динамики и их сопоставление с реальными процессами (так, переход к хаосу в моделях зачастую сопровождается появлением и усложнением циклической динамики).

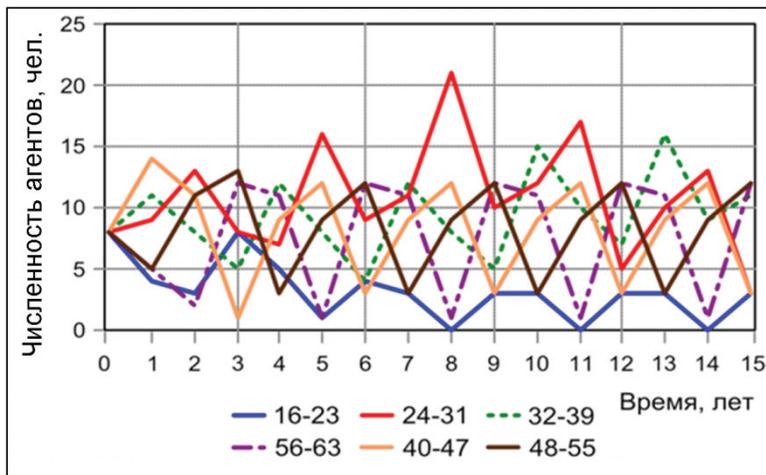


Рис. 4. Короткопериодные колебания численности мигрантов по возрастным группам в модели с шагом изменения характеристик регионов – 1 год

Fig. 4. Short-term fluctuations in the number of migrants by age groups in the model with a 1-year step of changes in the characteristics of regions

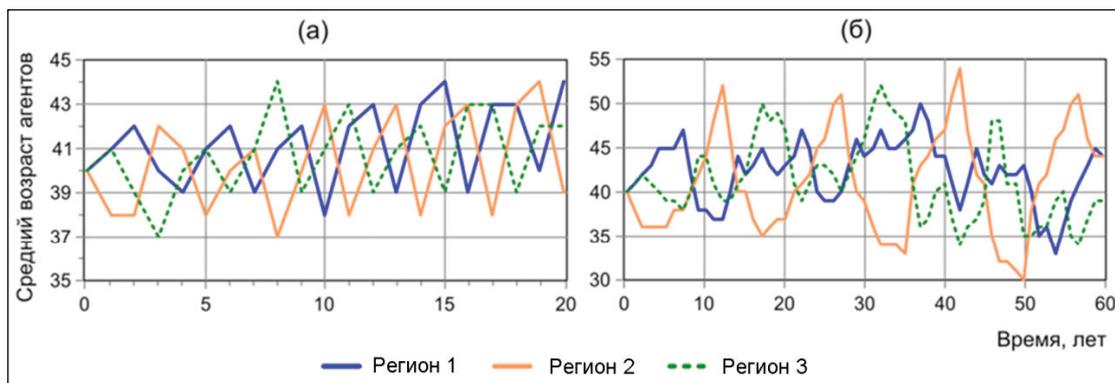


Рис. 5. Динамика среднего возраста агентов по регионам в модели: а, б) шаг изменения характеристик регионов 1 и 5 лет соответственно

Fig. 5. Dynamics of the agents' average age by regions in the model: a), b) the 1- and 5-year step of changes in the characteristics of the regions, respectively

Таким образом, проведенное исследование выявило, что одним из механизмов формирования нерегулярных режимов динамики численности мигрантов является наличие стратегий миграционного поведения. Кроме того, в ходе исследования предложен подход к формализации этих стратегий, который может быть положен в основу изучения сложного поведения соответствующих агент-ориентированных моделей для конкретных регионов.

Заключение

В результате исследования базовой агент-ориентированной модели показано, что сочетание различных стратегий миграции может приводить к нерегулярной динамике, значительно затрудняющей прогноз миграционных процессов. В практике управления социально-экономическими и демографическими процессами стараются не допускать возникновения хаотических режимов, а при их наличии – производить меры регули-

зации динамики. Можно полагать, что в современном мире возникающая хаотическая динамика социально-демографических процессов является естественным следствием формирования либеральных ценностей, допускающих большое разнообразие стратегий поведения. Судя по всему, происходит социальный эволюционный процесс, который, с одной стороны, должен привести к образованию новых общественных структур и большей реализации личных свобод, с другой стороны, формированию более эффективных социально-экономических механизмов, препятствующих социальной разбалансировке, в частности, неконтролируемым всплескам миграции или миграционным «истощениям» регионов.

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. Ермаков С.В., Шкуркин А.М. Миграционный трудовой потенциал региона в системе структурных диспропорций рынка труда // Власть и управление на Востоке России. 2007. № 1. С. 53–60.
 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 возрастной состав населения регионов, городов и районов России // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. 2014. Т. 12. С. 381–396.
 7. Мотрич Е.Л. Миграция и культурная сложность стран и регионов // Пространственная экономика. 2018. № 4. С. 185–188.
 8. Романовский М.Ю., Романовский Ю.М. Введение в эконофизику: статистические и динамические модели. М.; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2012. 340 с.
 9. Флорида Р. Кто твой город? Креативная экономика и выбор места жительства. М.: Strelka Press, 2014. 368 с.
 10. Фрисман Е.Я., Кулаков М.П., Ревуцкая О.Л., Жданова О.Л., Неверова Г.П. Основные направления и обзор современного состояния исследований динамики структурированных и взаимодействующих популяций // Компьютерные исследования и моделирование. 2019. Т. 11, № 1. С. 119–151. DOI: 10.20537/2076-7633-2019-11-1-119-151.
 11. Хавинсон М.Ю., Колобов А.Н. Моделирование периодических колебаний миграционной динамики: агент-ориентированный подход // Региональные проблемы. 2019. Т. 22, № 4. С. 69–75. DOI: 10.31433/2618-9593-2019-22-4-69-75.
 12. Хавинсон М.Ю., Кулаков М.П., Мищук С.Н. Прогнозирование динамики внешней трудовой миграции на региональном уровне // Проблемы прогнозирования. 2013. № 2 (137). С. 99–111.
 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. DOI: 10.17059/2017-1-12.
 14. Schelling T. *Micromotives and Macrobehavior*. New York; London: WW Norton and Company, 1978. 242 p.
 15. Weidlich W. *Sociodynamics: a Systematic Approach to Mathematical Modelling in the Social Sciences*. London: CRC Press, 2000. 392 p.

REFERENCES

1. Dmitriev M.G., Yudina T.N. Migration processes: Models of analysis and forecasting (Overview). *Trudy ISA RAN*, 2017, vol. 67, no. 2, pp. 3–14. (In Russ.).
2. Ermakov S.V., Shkurkin A.M. Migration labor potential of the region in the system of structural labor market imbalances. *Vlast' i upravlenie na Vostoke Rossii*, 2007, no. 1, pp. 53–60. (In Russ.).
3. Lebedyuk E.A. Agent-Based modelling: state and prospects. *Vestnik REU im. G.V. Plekhanova*, 2017, no. 6 (96), pp. 155–162. (In Russ.).
4. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Sushko E.D. Modeling demographic processes using an agent-based approach. *Federalizm*, 2014, no. 4 (76), pp. 37–46. (In Russ.).
5. Mishchuk S.N., Tajorova M.A., Bepalova N.V. Compatriots' resettlement to the Far-Eastern Federal District: problems and their solutions. *Vlast' i upravlenie na Vostoke Rossii*, 2014, no. 2 (67), pp. 54–61. (In Russ.).
6. Mkrтчyan N.V. To the degree of migration influence on the population age structure in Russian regions, towns and districts. *Nauchnye trudy: Institut narodnokhozyaistvennogo prognozirovaniya RAN*, 2014, no. 12, pp. 381–396. (In Russ.).
7. Motrich E.L. Migration and cultural difficulty of countries and regions. *Prostranstvennaya ekonomika*, 2018, no. 4, pp. 185–188. (In Russ.).
8. Romanovskii M.Yu., Romanovskii Yu.M. *Vvedenie v ekonofiziku: statisticheskie i dinamicheskie modeli* (Introduction to Econometrics: Statistical and dynamic models). Moscow; Izhevsk: Institut komp'yuternykh issledovaniy Publ., 2012. 340 p. (In Russ.).
9. Florida R. *Kto tvoi gorod? Kreativnaya ekonomika i vybor mesta zhitel'stva* (Who is your city? Creative economy and choice of residence). Moscow: Strelka Press Publ., 2014. 368 p. (In Russ.).
10. Frisman E.Ya., Kulakov M.P., Revutskaya O.L., Zhdanova O.L., Neverova G.P. The key approaches and review of current researches

- on dynamics of structured and interacting populations. *Komp'yuternye issledovaniya i modelirovaniye*, 2019, vol. 11, no. 1, pp. 119–151. DOI: 10.20537/2076-7633-2019-11-1-119-151. (In Russ.).
11. Khavinson M.Yu., Kolobov A.N. Modeling of periodic oscillations of migration dynamics: the agent-oriented approach. *Regional'nye problemy*, 2019, vol. 22, no. 4, pp. 69–75. DOI: 10.31433/2618-9593-2019-22-4-69-75. (In Russ.).
 12. Khavinson M.Yu., Kulakov M.P., Mishchuk S.N. Prediction of foreign labor migration dynamics at the regional level. *Problemy prognozirovaniya*, 2013, no. 2 (137), pp. 99–111. (In Russ.).
 13. Shmidt Yu.D., Ivashina N.V., Lobodin P.N., Kukhlevsky A.L. Forecasting of interregional migration flows. *Ekonomika regiona*, 2017, vol. 13, no. 1, pp. 126–136. DOI: 10.17059/2017-1-12. (In Russ.).
 14. Schelling T. *Micromotives and Macrobehavior*. New York; London: WW Norton and Company, 1978. 242 p.
 15. Weidlich W. *Sociodynamics: a Systematic Approach to Mathematical Modelling in the Social Sciences*. London: CRC Press, 2000. 392 p.

IRREGULAR DYNAMICS IN THE AGENT-BASED MIGRATION MODEL

M.Yu. Khavinson, A.N. Kolobov

The article is devoted to modeling the dynamics of migration at the regional level. In the context of the transition to a post-industrial society, population migration becomes more dynamic, which requires improving approaches to its forecasting and makes significant the study of personal strategies for choosing the time of migration and the host region by agents. Different strategies of agents lead to the emergence of migrant strata with dynamically changing number, unevenly distributed among the receiving regions. As a result, it can be observed nonlinear fluctuations in the number of migrants, for the study of which simulation modeling tools are relevant. This research is devoted to the study of the migration processes complex dynamics by the method of agent-based modeling. The simulation is based on the assumption that a migrant, when choosing a region, follows a strategy, characteristic of his age group, which in the long end directly affects the distribution of the number of migrants of various cohorts and the total number of migrants in the region. At this, the strategy choice is determined by socio-economic characteristics of the regions: different levels of economic, social and environmental attractiveness. The authors hypothesized that different strategies of migration behavior can lead to complex migration dynamics. To test the hypothesis, the authors built a basic agent-based model of migration for three regions, which takes into account various strategies of agents' migration behavior, including the choice of a region with the highest economic, social or environmental level of attractiveness. The result of numerical experiments shows that a combination of various strategies for choosing a region with a change in the age structure of migrants leads to periodic and complex regimes of migration dynamics. The authors have found the conditions under which complex dynamics in the model occurs in the short - and medium-term periods.

Keywords: migration, population, region, agent-based modeling, irregular dynamics.

Reference: Khavinson M.Yu., Kolobov A.N. Irregular dynamics in the agent-based migration model. *Regional'nye problemy*, 2021, vol. 24, no. 1, pp. 34–39. (In Russ.). DOI: 10.31433/2618-9593-2021-24-1-34-39.