


<https://doi.org/10.17073/2072-1633-2022-3-367-379>

Подходы и инструментальные средства моделирования взаимовлияния миграционной активности населения и экономического развития территорий

М.М. Низамутдинов  , М.И. Ахметзянова, Ю.С. Аитова

*Институт социально-экономических исследований – обособленное структурное подразделение
Федерального государственного бюджетного научного учреждения
Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук,
450054, Уфа, просп. Октября, д. 71, Российская Федерация*
 marsel_n@mail.ru

Аннотация. Введение санкционных ограничений, свертывание международных отношений, приведшее к существенному снижению объемов внешнеторгового оборота и интенсивности взаимодействия стран мира в технологической и финансовой сфере, продолжают оказывать существенное влияние на экономическое развитие Российской Федерации. Одной из актуальных задач в рамках общей проблематики совершенствования механизмов стратегического планирования является расширение возможностей применения существующих методических и инструментальных средств для определения взаимосвязанности уровня экономического развития территориальных образований и миграционных процессов, в том числе с точки зрения последующего формирования прогнозных сценариев изменения миграционной привлекательности субъектов Российской Федерации. Эффективным инструментом решения этой задачи является разработка и применение различного класса экономико-математических моделей, позволяющих выявлять ключевые факторы, воздействующие на миграционную активность населения, проводить сценарное прогнозирование для оценки влияния различных мер государственного регулирования на динамику социально-экономического развития территорий в средне- и долгосрочной перспективе.

В рамках настоящего исследования проведен сравнительный анализ подходов и инструментальных средств, используемых для имитационного моделирования экономико-демографического развития разноуровневых территориальных систем. Проведенный анализ позволил выявить возможности и ограничения их практического применения в рамках задачи оценки взаимовлияния миграционной активности населения и экономического развития территорий. С учетом результатов оценки сформулированы основные принципы и требования к разработке соответствующего модельного инструментария. Обоснован подход к исследованию взаимовлияния миграционной активности населения и экономического развития региона, основанный на комплексном использовании методов имитационного моделирования, нечеткой логики, параметрического анализа, а также современных геоинформационных технологий. Комплексное применение этих методов обеспечит выработку механизмов регулирования межрегиональной миграции и позволит сформировать меры для обеспечения устойчивого развития экономики регионов Российской Федерации в долгосрочной перспективе.

Ключевые слова: территориальные системы, экономическое развитие, население, миграционная активность, теоретические подходы, инструментальные средства, сопоставительная оценка, имитационное моделирование

Благодарности: Исследование выполнено в рамках государственного задания УФИЦ РАН № 075-03-2022-001 от 14.01.2022.

Для цитирования: Низамутдинов М.М., Ахметзянова М.И., Аитова Ю.С. Подходы и инструментальные средства моделирования взаимовлияния миграционной активности населения и экономического развития территорий. *Экономика промышленности*. 2022;15(3):367–379. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2022-3-367-379>

Modeling approaches and tools of the mutual influence of the migration activity of the population and economic development of the territories

M.M. Nizamutdinov  , M.I. Akhmetzyanova, Yu.S. Aitova

Institute of Social and Economic Studies – Separate Structural Division of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 71 October Ave., Ufa 450054, Russian Federation

 marsel_n@mail.ru

Abstract. Introduction of sanctions restrictions, curtailment of international relations that caused significant reduction of volume of foreign trade turnover and the intensity of interaction between the world countries in technological and financial area, is continuing to have a significant impact on the economic development of the Russian Federation. One of the topical tasks within the general issues of improving strategic planning mechanisms is extending the opportunities for application of the existing methods and tools for identifying the degree of interrelationship between the economic development of the territorial entities and dynamics of the migration process including the perspective of the further creation of forecast scenarios for changes in the migration attractiveness of the entities of the Russian Federation. An effective tool for solving this problem is development and implementation of various economic and mathematical models that provide the opportunity for identifying the key factors affecting the migration activity of the population, carrying out scenario forecasting to evaluate the effect of various measures of government regulation on the dynamics of social and economic development of the territories in the medium- and long-term perspectives. The study in hand involves comparative assessment of well-known approaches and tools used for imitative modelling of economic and demographic development of territorial systems with different level. The authors have conducted the analysis that made it possible to reveal the opportunities and the limits of their practical implementation within the task of evaluating the mutual influence of the migration activity of the population and economic development of the territories. Taking into account the results of assessment, the authors formulate basic principles and requirements for establishing an appropriate set of modelling tools. They justify the approach to studying the mutual influence of the migration activity of the population and economic development of the region based on the complex application of imitation modelling methods, indistinct logic, parameter analysis as well as geographical information technologies. Complex application of these methods will provide for the development of mechanisms of regulating interregional migration and allow establishing the measures for ensuring sustainable development of the economics of the regions of the Russian Federation in the long-term perspective.

Keywords: territorial systems, economic development, population, migration activity, theoretical approaches, tools, comparative assessment, imitation models

Acknowledgements: The study was carried out within the framework of the state order of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences No. 075-03-2022-001, dated January 14, 2022.

For citation: Nizamutdinov M.M., Akhmetzyanova M.I., Aitova Yu.S. Modeling approaches and tools of the mutual influence of the migration activity of the population and economic development of the territories. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2022;15(3):367–379. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2022-3-367-379>

创建人口迁移活动与区域经济发展相互作用模型的方法和工具

M.M. 尼扎穆季诺夫  , M.I. 阿赫梅特佳诺娃, Yu.S. 阿伊托娃

社会与经济研究所——联邦国家预算科学机构俄罗斯科学院乌法联邦研究中心 下属独立的结构分支机构, 450054, 俄罗斯联邦乌法市 十月大街71号

 marsel_n@mail.ru

摘要：制裁限制的实施、国际关系的收缩导致对外贸易额大幅下降、以及世界各国在技术与金融领域相互作用的强度等因素继续对俄罗斯联邦的经济发展产生重大影响。在改善战略规划机制总体问题框架内，一个紧迫的任务是提高使用现有的方法和工具评估和预测俄罗斯联邦不同

地区投资吸引力水平的能力，弄清地区社会经济发展与人口迁移过程动态之间的相互关系。解决这一问题的有效工具是开发和应用不同类型的经济数学模型，以识别影响人口迁移活动的关键因素，进行情景预测，以评估国家各种监管措施对中长期地区社会经济发展动态的影响。作为本研究的一部分，对用于多层次地区系统经济和人口发展模拟建模的最知名方法和工具进行了比较评估。这项分析使我们能够在解决评估人口迁移活动与地区经济发展的相互影响这一问题框架内，找出实际应用这些方法和工具的可能性和局限性。根据评估结果，我们制定了开发适当模型工具的基本原则和要求。在综合运用模拟方法、模糊逻辑、参数分析以及现代地理信息技术的基础上，研究人口迁移活动与地区经济发展相互影响的方法得到了证实。这些方法的综合使用将确保地区间人口迁移监管机制的建立，并使制定措施以确保俄罗斯联邦各地区经济长期可持续发展成为可能。

关键词：人口迁移活动、地区系统的经济发展、理论方法和工具、比较评估、模拟建模

鸣谢：本研究是在俄罗斯科学院乌法联邦研究中心2022年1月14号第 075-03-2022-001号 任务框架内进行的。

Введение

В настоящее время оптимальное территориальное размещение населения и взаимовлияние демографических процессов и экономического развития территорий является актуальной задачей как в разрезе отдельных стран, так и для мира в целом. При этом известно, что изменения, происходящие в условиях ухудшения политической обстановки, в большей степени оказывают воздействие не только на социально-экономическое развитие страны, но и на формирование приоритетов населения при выборе потенциального места жительства.

Согласно данным Росстата, системное действие неблагоприятной для России геополитической обстановки, в частности введение антироссийских санкций со стороны США и Европейского союза и разработанных в ответ на них российских контрсанкций в 2015–2016 гг., закономерно привело к негативным последствиям и экономическому спаду внутри страны. Например, в 2015 г. объем промышленного производства по сравнению с 2014 г. снизился на 1,5 %, объем инвестиций в основной капитал – на 8,6 %, производительность труда – на 2,1%, инвестиции в основной капитал – на 8,6 %, ВВП – на 1,0 %. Кроме того, санкционные ограничения привели к заморозке ряда инвестиционных программ российских компаний, общему снижению спроса и обострению давних проблем (зависимость от высокотехнологичного импорта, невысокий уровень генерируемой в экономике добавленной стоимости, технологическое отставание от ведущих стран мира и пр.)¹.

В свою очередь, в 2022 г. Россия в очередной раз столкнулась с рядом проблем социально-экономического развития, среди которых – падение курса рубля по отношению к ключевым мировым валютам; обострение конфликта на территории Украины, связанной с Россией тесными международными, финансовыми, социальными, экономическими, отношениями; введение новых санкционных ограничений; снижение покупательной способности населения; сокращение рабочих мест и пр. Наряду с этим, не менее важной проблемой остается рост безработицы в стране. Так, по оценкам АНО «Институт ВЭБ», в связи с введением новой санкционной политики со стороны западных стран уровень безработицы в 2022 г. увеличится с 4,8 % в 2021 г. до 6,0–6,2 % за год в зависимости от сценариев². В качестве мер по недопущению более высокого роста числа безработных рекомендуется реализовать дополнительные мероприятия по поддержке занятости населения, профессиональному переобучению работников в соответствии с новыми потребностями рынка труда, а также наращиванию производственного потенциала за счет адаптации экономики к новым условиям.

Стоит отметить, что в течение продолжительного периода в регионах России отмечается сокращение численности трудоспособного населения. В свою очередь, миграционное движение оказывает влияние на изменение численности населения, его возрастной структуры, приводит к значительным изменениям на рынках труда и жилья и т.д. В данных условиях миграция ста-

¹ Витрина статистических данных. Коэффициент миграционного прироста на 10 000 человек населения. URL: <https://showdata.gks.ru/finder/> (дата обращения: 11.05.2022).

² Предложения по мерам социальной политики в условиях комплексных санкций. URL: <http://inveb.ru/attachments/article/796/%D1%81%D0%BE%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B9%20%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%B6%D0%BA~.pdf> (дата обращения: 13.04.2022).

новится важнейшим источником восполнения трудовых ресурсов, что впоследствии оказывает влияние на общее экономическое развитие территории. Так, согласно результатам исследования, представленного Центральным банком России (далее – ЦБ России), «миграционный прирост оказывает значимый эффект на экономический потенциал территории» [1, с. 24]. Оценка функций импульсных откликов моделей SVAR, построенных ЦБ России на эмпирических данных по России и регионам, свидетельствует о том, что в регионах-реципиентах миграция оказывает небольшое, но значимое положительное влияние на валовый региональный продукт (ВРП), а в регионах-донорах – на заработную плату. Так, изменение миграционного прироста на 1 % сопровождалось увеличением темпов роста ВРП примерно на 0,04 %. В то же время наблюдается незначительное увеличение реальной заработной платы на 0,02–0,03 %, причиной которого может быть усиление конкуренции между работодателями на рынке труда в условиях сокращения рабочей силы³. Также по оценкам различных экспертов вклад мигрантов в ВВП страны варьируется от 6 до 8 % [2, с. 205–206].

Также несомненным является тот факт, что экономическое развитие территориальных систем тесно связано с их социальным и демографическим состоянием. В первую очередь, «лакмусовой бумагой» в данных условиях зачастую выступают миграционные процессы. Именно

³ Миграция в России: позиция, подходы и пути решения. URL: <https://russiancouncil.ru/blogs/rahmonulmasov/migratsiya-v-rossii-pozitsiya-podkhody-i-puti-resheniya/> (дата обращения: 11.05.2022).

процессы миграции населения в короткий период могут продемонстрировать степень воздействия на них экономических изменений. Например, сложная политико-экономическая ситуация в XXI в., вызванная военными действиями и низким уровнем жизни в регионах стран Ближнего Востока, севера Африки, стала причиной массового потока мигрантов в европейские страны [3, с. 1]. За период с 2000 по 2020 г. численность международных мигрантов увеличилась на 107 млн чел.⁴ Первое место в данном списке традиционно занимает США, второе – Германия, третье – Саудовская Аравия, четвертое – Россия. В то же время в России введение санкционных ограничений в 2014 г. привело к снижению коэффициента миграционного прироста в последующие периоды и вернулось к «досанкционным» значениям лишь к 2019 г. В большей степени данное обстоятельство обусловлено ухудшением экономической обстановки в стране (рис. 1)⁵.

Важной проблемой остаются существенные негативные последствия, возникающие по причине нерегулируемости процессов внутренней миграции на территории России. На сегодняшний день в России участниками межрегиональной миграции является более 2 млн чел., 73,5 % которых представляет собой трудоспособное на-

⁴ International Migration 2020. Highlights https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org/development/desa/pd/files/undesa_pd_2020_international_migration_highlights.pdf (дата обращения: 17.05.2022).

⁵ Подготовлен авторами на основе анализа статистических данных «Витрина статистических данных. Коэффициент миграционного прироста на 10 000 человек населения». URL: <https://showdata.gks.ru/finder/> (дата обращения: 11.05.2022).

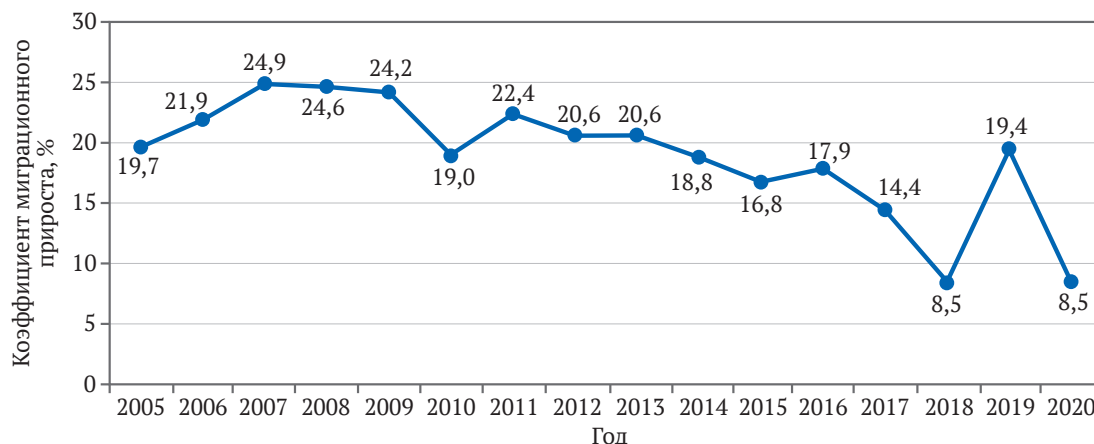


Рис. 1. График изменения коэффициента миграционного прироста на 10 000 чел. населения Российской Федерации с 2006 по 2020 г.

Fig. 1. The schedule of changes in the migration growth rate per 10,000 population of the Russian Federation from 2006 to 2020

селение. Сложившиеся тенденции миграционного движения населения внутри страны обусловлены в большей степени различным уровнем социально-экономического развития территорий, что, в свою очередь, приводит к большему росту дифференциации регионов. Данный факт связан с тем, что население зачастую выбирает в качестве потенциального места жительства наиболее развитые территории. В долгосрочном периоде сложившиеся тенденции миграционного движения населения оказывают влияние на изменение системы расселения. Стоит отметить, что Россия относится к числу государств, отличающихся большой площадью территории и высокой степенью ее неоднородности как географически, климатически, экономически, так и в аспекте расселения. Исторически сложившиеся тенденции центробежного движения населения и смещения миграционных потоков в южные регионы остаются актуальными и на сегодняшний день, что продолжает оказывать влияние на рост дифференциации субъектов. Трансформация экономического состояния страны и регионов, направленная на ее модернизацию, должна осуществляться с учетом пространственных аспектов развития и ориентироваться на формирование адекватной и сбалансированной системы территориального расселения. В данных условиях необходимым становится сосредоточение внимания на проблемах пространственной мобильности населения и разработки мероприятий по определению сбалансированной системы территориального распределения населения в целях создания эффективной политики регулирования миграционных процессов. Таким образом, усиление роли миграционных процессов в современных экономических реалиях обосновывает значимость всестороннего изучения данного процесса, в частности, с точки зрения моделирования и прогнозирования процессов пространственной мобильности населения.

Существующие подходы к моделированию взаимовлияния миграционной активности населения и экономического развития территорий

На сегодняшний день накоплен существенный научный задел в исследованиях, рассматривающих проблематику моделирования и прогнозирования миграционных процессов, а также оценки их влияния на экономическую динамику. Проведенная нами систематизация известных подходов позволяет условно выделить шесть наиболее известных подходов, отличающихся логикой построения структуры модели и используемыми методами формализации.

Среди традиционных моделей миграции наиболее распространенными являются *гравитационные модели*. В данных моделях предполагается наличие логической взаимосвязи относительно миграционных потоков и расстоянием между исследуемыми территориями. Стоит отметить, что первоначально разработанная гравитационная модель значительно отличается от ее современного вида, так как рядом авторов, например, П.Д. Конверсом и У.Дж. Рейли [4–6], были внесены значительные изменения и дополнения. Дж. Ципф, применив гравитационную модель выявил, что потоки миграции между территориями прямо пропорциональны численности населения на территориях выбытия и прибытия, а также обратно пропорциональны квадрату расстояния между ними [7]. В свою очередь, отечественными учеными С.М. Гурьевым и А.В. Андриенко гравитационная модель была усовершенствована на примере внутренней миграции и апробирована на статистических данных России и ее отдельных регионов [8]. Следует отметить, что авторы внесли существенные изменения в первоначальный вид рассматриваемой модели: помимо данных о миграционных потоках и расстоянии между территориями было учтено влияние различных факторов социально-экономического развития. В результате апробации модели выявлено, что движение трудовых ресурсов направлено из наиболее «бедных» регионов (для которых характерен высокий уровень безработицы и низкий уровень предложений на рынке труда) в более развитые, в которых отмечаются благоприятные условия на рынке труда [9, с. 37–38]. Однако стоит отметить, что гравитационные модели характеризуются низкой прогностической способностью и зачастую предполагают синхронность миграционных потоков, что не соответствует действительности.

Одним из эффективных подходов к моделированию и прогнозированию миграционных процессов являются регрессионные модели. Целью использования регрессии является определение наличия и степени взаимосвязи между исследуемыми показателями. Особенности использования данного подхода для анализа взаимообусловленности демографических и социально-экономических процессов представлены в работах М.М. Буркина, И.Р. Франклина и Э.Д. Понарина [10, 11]. К достоинствам применения регрессионных моделей следует отнести отбор наиболее значимых показателей, влияющих на зависимую переменную, а также выявление причинно-следственных связей между независимыми показателями, что позволяет вы-

работать эффективные управленческие решения с высокой степенью обоснованности. К недостаткам можно отнести статичность, как следствие снижающую надежность и точность прогнозов.

Имитационное моделирование заключается в построении математической модели, наиболее близко отражающей процессы, происходящие в реальной системе, и позволяет учесть влияние различных факторов, в том числе, носящих качественный характер [12, с. 253]. Такая модель позволяет проводить различные эксперименты с учетом изменения входных установок и оценить влияние различных факторов на исследуемые процессы. Применение методов имитационного моделирования обосновано в случае невозможности построения аналитической модели, т.е. существуют факторы, которые невозможно представить в количественном выражении. К видам имитационного моделирования относят системную динамику, дискретно-событийное, статистическое, ситуационное и агентное моделирование. При этом при моделировании миграционных процессов зачастую применяется агент-ориентированный подход.

Построение модели на основе агент-ориентированного подхода подразумевает учет индивидуального поведения разного количества агентов (в зависимости от цели исследования), обладающих различными характеристиками и свойствами, которые в свою очередь, оказывают влияние на принятие человеком решения о миграции [13, с. 207]. Основными достоинствами использования данных моделей является возможность изучения индивидуального поведения агентов в зависимости от выбранной им стратегии, а также реализация сценарных условий, в результате которых можно определить степень влияния изменения одних показателей на динамику других. Применение агентных моделей относится к современным и перспективным направлениям, в частности, для органов государственного управления в рамках выявления наиболее эффективных методов решения существующих проблем.

Оптимизационные модели формируются в виде совокупности параметров, характеризующих управляемый экономический объект или процесс и придающих максимальное или минимальное значение целевой функции при соблюдении ограничений, накладываемых на область изменения параметров и связей между ними [14, с. 97]. В данном случае целью исследования может являться как определение оптимального уровня миграционной активности населения, необходимого для развития экономи-

ческой, демографической, социальной и других сфер, но также и определение требуемого уровня развития территориального образования. Однако определение целевой функции для подобных задач с высокой степенью адекватности является достаточно трудновыполнимой и требует привлечения значительных ресурсов.

Марковские модели представляют собой инструмент формализации исследуемых процессов и моделирования случайно изменяющейся системы в виде цепей Маркова. Данные модели обладают такими преимуществами, как содержательность, создают необходимую базу в более обоснованном определении траектории движения систем, выборе стратегии, максимизирующей параметры системы [15, с. 103]. К недостаткам использования данного инструмента относится необходимость наличия исчерпывающей информации о матрице вероятностей переходов в каждый момент времени, что является зачастую проблематичным, в частности в рамках существующей системы учета миграционных потоков. Исследователи в числе наиболее эффективных способов устранения данного недостатка предлагают использование метода динамики средних.

Наиболее часто в исследованиях для оценки влияния изменения одного параметра на другой применяется *компонентный анализ*. Известно, что исходные данные могут включать наблюдения, имеющие большое количество однотипных показателей. В связи с этим, целесообразно снизить размерность анализируемых данных, выделив среди них главные компоненты, что, возможно, позволит определить группы взаимосвязанных параметров [16, с. 23]. Основное преимущество данного метода состоит в возможности существенно и эффективно сократить исходное пространство данных [16, с. 21].

Одним из наиболее современных и перспективных инструментов для построения моделей исследуемых процессов являются *нейронные сети*, которые развиваются благодаря достижениям в области теории искусственного интеллекта и информатики [17, с. 10]. Например, в работе [18, с. 10–11], посвященной прогнозированию социально-экономического развития территорий, авторами обосновываются преимущества применения нейросетевых технологий по сравнению с классическими методами экономического моделирования и анализа. В **табл. 1**, на основе анализа подходов к моделированию миграционных процессов, систематизированы представленные выше подходы к моделированию взаимовлияния миграционных процессов и социально-экономи-

ческого развития территорий, выделены их основные преимущества и недостатки.

Необходимо отметить, что, несмотря на расширенные возможности представленных методов моделирования миграционных процессов, на сегодняшний день они не позволяют в полной мере учесть неформализованную информацию и все необходимые для исследования показатели. Также к ограничениям использования рассмотренных методов можно отнести проблемы статистической базы (изменение методик расчета показателей, значительные колебания показателей в динамике за временной период, отсутствие необходимой информации и т.д.) и погрешность результатов прогнозирования. С учетом огра-

ничений практического использования данных методов наиболее эффективным методом анализа взаимовлияния миграционной активности населения и экономического развития территорий могут стать модели на основе агент-ориентированного подхода. Целесообразность использования именно агент-ориентированного моделирования заключается в том, что 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, позволяет учесть в модели особенности поведения населения при принятии решения

Таблица 1 / Table 1

Подходы к моделированию миграционных процессов
Approaches to migration modeling

Наименование подхода	Авторы работ	Преимущества	Недостатки
Гравитационная модель	Converse P.D [6], Zipf G.K. [19]	– возможность определения значимости факторов, влияющих на миграционные процессы; – мультипликативный вариант модели дает хорошие результаты при прогнозировании количественных оценок миграционных потоков	– прогнозируемые значения сильно отличаются от фактических; – предполагается синхронность потоков, что в действительности не так
Регрессионная модель	Инглхарт Р. Ф., Понарин Э.Д. [11]	– возможность определения наиболее значимых факторов, отличающихся высоким уровнем корреляционной связи между зависимой и независимыми переменными	– недостаточность и низкое качество исходных статистических данных для получения адекватных результатов моделирования
Имитационная модель	Бахтизин А.Р. [20], LeBaron B., Tesfatsion L. [21], Diaz B.A. [22], Corrado Di M., Stryszowski P. [23]	– возможность поливариантного сценарного прогнозирования развития экономики региона; – изучение поведения каждого агента в зависимости от изменения входных показателей; – апробация управленческих воздействий	– необходимость наличия неформализованных данных, в том числе результатов дополнительных исследований, например, социологических опросов населения или групп населения
Оптимизационная модель	Golz P., Procaccia A.D. [24], Некрасова Е.В [25]	– возможность описания оптимальной структуры миграции; – возможность формирования нормативного прогноза изменения миграционных процессов при условии отражения критерием оптимальности закона поведения населения конкретной территории	– определение адекватной целевой функции является трудоемкой задачей, решение которой требует использования определенных ресурсов
Марковская модель	Hirst M.A. [26], Эльдяева Н.А., Кованова Е.С. [27]	– качественный математический аппарат; – возможность проведения межвременного сопоставления аспектов миграционных перемещений	– необходимость наличия полной информации о матрице вероятностей переходов в каждый момент времени; – низкое качество прогнозирования
Нейронные сети	Бутусов О.Б., Никифорова О.П. [28]	– возможность решения слабо формализованных задач	– сложность построения; – потребность определенной материально-технической базы

о смене места жительства. Кроме того, агент-ориентированные модели (АОМ) являются наиболее приближенными к реальности, позволяют учесть роль человеческого фактора в экономике, имитируют процессы микроуровня как результата деятельности множества агентов, повышают качество прогноза социально-экономического развития отдельного региона или страны в целом, усиливают научную обоснованность планово-прогнозных документов [29, с. 125].

Существующие имитационные модели для исследования взаимовлияния миграционных процессов и экономического развития территорий

На сегодняшний день зарубежной и отечественной наукой накоплен значительный опыт разработки прикладных имитационных моделей, предназначенных для определения взаимосвязи миграционных процессов и экономического развития территорий с использованием различных сред моделирования (табл. 2).

Таблица 2 / Table 2

Имитационные модели взаимовлияния миграционных процессов и экономического развития территорий

Simulation models of interaction of migration processes and economic development of territories

Название модели	Описание (структура) модели	Среда имитационной модели
Укрупненная агент-ориентированная имитационная модель миграционных потоков стран Европейского союза [30]	Для моделирования индивидуальных состояний агентов «Мигранты» и учета влияний состояний агентов на динамику и перераспределение миграционных потоков между странами Европейского союза используются методы агентного моделирования и системной динамики. Особенность модели заключается в возможности выявить основные тенденции динамики миграционных потоков с учетом влияния множества различных факторов для различных групп населения.	AnyLogic
Система прогнозирования развития региона (системно-динамическая модель) [31]	Включает в себя такие основные компоненты, как трудовые ресурсы, добывающая промышленность, перерабатывающая промышленность. Основной задачей модели является оценка «возможности» реализации разработанных стратегий экономического развития на примере Мурманской области. Результаты исследования свидетельствуют о том, что экономический потенциал и численность населения являются основными факторами, обуславливающими изменение миграционных процессов на территории данного региона.	PowerSim
Агентная модель движения факторов производства [32]	Агентная модель состоит из агентов «Страны», «Ресурсы», «Индивиды», которые являются носителями трудовых ресурсов. В рамках данной модели государства могут торговать ресурсами, а индивиды переезжать и инвестировать свой капитал в другие страны. Модель описывает неравновесный процесс свободного перетока капитала, рабочей силы и ресурсов между отдельными экономическими зонами.	NetLogo
Аналитическая система «Моделирование социально-экономического развития региона» [33]	Обобщенная компьютерная модель социально-экономического развития региона состоит из блоков «Природные ресурсы», «Производственные фонды», «Демография», «Финансы», «Внешние хозяйственные связи». Модель позволяет провести анализ демографической ситуации в целом по региону и по отдельным возрастным группам, прогнозирование состояния трудовых ресурсов с учетом миграционных процессов.	Vensim 5.0.
Lagom regiO – мультиагентная модель нескольких экономических регионов [34]	Модель может быть использована для оценки эффективности экономической политики Германии путем указания характеристик и взаимодействия агентов «Фирмы», «Домашние хозяйства», «Правительство», «Финансовая система», «Агенты по импорту/экспорту», представляющие торговлю с другими странами. Структура данной модели состоит из детерминированной динамической системы (для моделирования эволюции набора экономических агентов, наложенного стохастического процесса (для определения ограниченной информации о других агентах и стохастического шумового процесса малой интенсивности (для определения динамики социального обучения, с помощью которой модифицируются стратегии агентов).	Scala

Рассмотренные модели позволяют формировать прогнозы изменения основных демографических, миграционных, экономических показателей на различные временные периоды с последующей разработкой направлений стратегического развития территорий, а также корректировкой уже существующих документов и мероприятий в рамках реализации государственной политики. Проведенный анализ современного опыта в данной области позволяет провести классификацию имитационных моделей по цели их применения. Основными особенностями и возможностями применения АОМ являются [29, с. 125]:

- прогнозирование социально-экономического развития территорий;
- оценка эффективности и результативности проводимой государственной политики;
- повышение эффективности принятия и реализации управленческих решений;
- определение возможностей и ограничений устойчивого развития территориальных образований.

Вышеперечисленные имитационные модели зачастую позиционируются разработчиками как инструменты апробации управленческих решений. В то же время агент-ориентированный подход позволяет оценить эффективность принятых управленческих решений и возможные последствия их реализации на кратко- и долгосрочную перспективу. По оценкам авторов работы предлагаемая имитационная модель социально-экономического развития региона «позволяет прогнозировать основные показатели социально-экономического развития региона, проводить комплексный анализ уровня и качества жизни в территориальном разрезе и определить диспропорции и соответствующие точки роста в экономической системе региона» [33, с. 1377–1402]. С учетом необходимости разработки стратегий развития территориальных образований, направленных на обеспечение устойчивого развития территорий, применение подобных имитационных моделей особенно актуально и эффективно.

Все упомянутые работы содержат модели поведения, однако следует отметить, что в большинстве работ по данной тематике не учитывается тот фактор, что снижение уровня экономического развития региона может привести к высокому уровню оттока и низкому уровню притока квалифицированных мигрантов. Кроме того, в миграционные процессы вовлекается,

в основном, население трудоспособного возраста и женщины фертильного возраста. В связи с этим представляется целесообразным разработать модель миграционного поведения наиболее активной части населения – трудоспособного. Такой подход позволит ограничить перечень рассматриваемых показателей экономического развития территорий и сконцентрировать внимание на трудовой миграции.

Одним из основных преимуществ при разработке имитационных моделей экономических систем является возможность комбинированного использования в их структуре различных методов. На сегодняшний день перспективным научным направлением представляется создание комплексной модели, сочетающей в себе АОМ с использованием параметрического анализа, нечеткой логики и геоинформационных технологий. Таким образом, в данном исследовании формируются следующие требования к модели:

- возможность формирования прогноза миграционных потоков и уровня привлекательности территорий;
- учет характеристик индивидуумов, на основе которых формируются стратегии поведения агентов на основе АОМ;
- оценка влияния социально-экономических показателей на привлекательность территорий с помощью факторного анализа;
- решение слабоформализованной задачи обоснования принятия агентом решения о смене места жительства с использованием нечеткой логики;
- осуществление мониторинга миграционных потоков и уровня привлекательности регионов с применением геоинформационных технологий.

Предложенный подход к моделированию взаимовлияния миграционной активности и экономического развития территорий основан на логической интеграции алгоритма поведения агентов в общую вычислительную систему. Дальнейшее развитие предлагаемого инструмента позволит провести ряд экспериментов по оценке степени взаимного влияния экономических изменений на миграционное поведение населения. Полученные при моделировании результаты могут помочь в выработке рыночных механизмов воздействия, которые не только оказывают существенное влияние на микросреду, но и обеспечивают достижение конкретных целей экономического развития региона в средне- и долгосрочной перспективе.

Заключение

Регулирование пространственной мобильности населения относится к важнейшим задачам государственного управления. В условиях экономического спада страны, а также роста дифференциации регионов перспективным направлением видится реализация мер по достижению сбалансированной системы расселения в целях повышения эффективности развития территориальных образований. Таким образом, на сегодняшний день вопросы оценки и прогнозирования территориального размещения населения, развития регионов Российской Федерации остаются крайне актуальными и требуют применения научно обоснованных подходов. Одним из наиболее перспективных направле-

ний в данной сфере представляется разработка экономико-математических моделей территориальных систем.

Предложенный подход к разработке экономико-математической модели, основанный на сочетании методов имитационного моделирования, параметрического анализа, геоинформационных систем и нечеткой логики, позволит проводить экспериментальные и сценарные расчеты развития регионов Российской Федерации в сфере регулирования миграционных процессов на межрегиональном уровне, а также количественно определить индикативные параметры развития конкретных территориальных образований на средне- и долгосрочную перспективу.

Список литературы

1. Кудаева М., Редозубов И. Влияние миграционных потоков на экономическую активность и рынок труда России в целом и региональном аспекте. Серия докладов об экономических исследованиях / Центральный банк РФ. Декабрь, 2021. 45 с. https://cbr.ru/StaticHtml/File/131869/wp_khab_dec.pdf
2. Алешковский И.А., Гребенюк А.А., Кравец В.А., Максимова А.С. Иностранцы мигранты на российском рынке труда: оценка общей численности и вклада в ВВП России. *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*. 2019;12(6):197–208. <https://doi.org/10.15838/esc.2019.6.66.11>
3. Яковлева Е.Б. История и теории миграционных процессов. Теория и практика общественного развития. 2017;(3):1–5. <https://doi.org/10.24158/tipor.2017.3.2>
4. Корепина Т.А. Сравнительный анализ подходов к моделированию миграции. Вопросы территориального развития. 2017;(1(36)):1–6.
5. Converse P.D. New laws of retail gravitation. *Journal of Marketing*. 1949;14(3):379–384. <https://doi.org/10.1177/002224295001400303>
6. Reilly W.J. *The law of retail gravitation*. NY: Knickerbocker; 1931. 75 p. URL: [https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uc1.\\$b50138&view=1up&seq=19](https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uc1.$b50138&view=1up&seq=19)
7. Zipf G.K. *Human behavior and the principle of least effort*. Cambridge, (Mass.): Addison-Wesley Press; 1949. 573 p. URL: <https://archive.org/details/in.ernet.dli.2015.90211/page/n17/mode/2up>
8. Андриенко Ю., Гуриев С. Разработка прикладной модели внутренних и внешних миграционных потоков населения для регионов Российской Федерации. Отчет по проекту в рамках Программы поддержки независимых экономических аналитических центров МОНФ ЦЭФИР. М.; 2006. 52 с.
9. Вакуленко Е.С., Мкртчян Н.В., Фурманов К.К. Моделирование регистрируемых миграционных потоков между регионами Российской Федерации. *Прикладная эконометрика*. 2011;(1(21)):35–55.
10. Буркин М.М., Молчанова Е.В., Кручек М.М. Интегральная оценка влияния социально-экономических, экологических факторов на региональные демографические процессы. *Экология человека*. 2016;(6):39–46. <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2016-6-39-46>
11. Ингхларт Р.Ф., Понарин Э.Д., Равлик М.В. Регрессионные модели в оценке факторов международной миграции. *Социологические исследования*. 2014;(11(367)):22–31.
12. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Васенин В.А., Борисов В.А., Роганов В.А. Агент-ориентированные модели: мировой опыт и технические возможности реализации на суперкомпьютерах. *Вестник Российской академии наук*. 2016;86(3):252–262. <https://doi.org/10.7868/S0869587316030075>
13. Гафарова Е.А. Имитационные модели комплексного регионального развития. *Управление большими системами*. 2013;(45):206–221.
14. Васильева М.В. Роль экономико-математических методов и моделей в управлении экономическими объектами и процессами. *Экономические и гуманитарные науки*. 2012;(5(244)):95–100.
15. Абдулова Л.Р., Низамутдинов М.М. Исследование миграционных процессов на региональном уровне и разработка прогнозной модели с использованием многофакторного анализа (на примере Республики Башкортостан). *Аудит и финансовый анализ*. 2015;(1):79–84.
16. Фаттахов Р.В., Низамутдинов М.М., Атнабаева А.Р., Ахметзянова М.И. Оценка и прогнозирование привлекательности регионов России как фактора межрегиональной миграции. *Управленческие науки*. 2021;11(4):55–70. <https://doi.org/10.26794/2404-022X-2021-11-4-55-70>
17. Терехов В.И., Жуков Р.В. Методика подготовки данных для обработки импульсными нейронными сетями. *Нейрокомпьютеры: разработка, применение*. 2017;(2):31–36.

18. Курников Д.С., Петров С.А. Использование нейронных сетей в экономике. *Juvenis Scientia*. 2015;4(1(234)):21–25.
19. Review of the book *Human behavior and the principle of least effort* (1949), by G.K. Zipf. *Journal of Consulting Psychology*. 1949;13(3):224. <https://doi.org/10.1037/h0052803>
20. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д. Моделирование демографических процессов с использованием агент-ориентированного подхода. *Федерализм*. 2014;4(76):37–46.
21. Lebaron V., Tesfatsion L. Modeling macroeconomies as open-ended dynamic systems of interacting agents. *American Economic Review*. 2008;98(2):246–250. <https://doi.org/10.1257/aer.98.2.246>
22. Diaz B.A. *Agent-based models on social interaction and demographic behaviour*. Diss. PhD. Vienna: Vienna Univ. of Technol.; 2010. 93 p. URL: https://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_184665.pdf
23. Corrado Di M., Strykowski P. Migration, human capital accumulation and economic development. *Journal of Development Economics*. 2009;90(2):306–313. <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2008.06.008>
24. Golz P., Procaccia A.D. Migration as submodular optimization. In: *Proc. of the AAAI Conf. on Artificial Intelligence*. 2019;33:549–556. <https://doi.org/10.1609/aaai.v33i01.3301549>
25. Некрасова Е.В. Оптимизация внутренней миграции как механизм решения проблем моногородов Свердловской области. *Экономика региона*. 2012;(2):315–320.
26. Hirst M.A. A Markovian analysis of inter-regional migration in Uganda. *Geografiska Annaler. Series B, Human Geography*. 1976;58B(2):79–94. <https://doi.org/10.1080/04353684.1976.11879414>
27. Кованова Е.С., Эльдяева Н.А. Оценка и анализ межрегиональной трудовой миграции населения региона. *Вестник Московского финансово-юридического университета*. 2018;(1):171–181.
28. Бутусов О.Б., Никифорова О.П., Редикольцева Н.И. Математические методы анализа миграционных процессов на основе демографических данных. *Известия МГТУ «МАМИ»*. 2015;4(1(23)):21–25.
29. Россошанская (Чекмарева) Е.А. Агент-ориентированные модели в муниципальном управлении. *Проблемы развития территории*. 2017;(6(92)):121–135. URL: <http://pdt.vsc.ac.ru/article/2410>
30. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С., Ровенская Е.А., Стрелковский Н.В. Урупненная агент-ориентированная имитационная модель миграционных потоков стран Европейского союза. *Экономика и математические методы*. 2019;55(1):3–15. <https://doi.org/10.31857/S042473880004044-7>
31. Горохов А.В., Путилов В.А., Шестаков А.А. Системная динамика в управлении региональным развитием (на примере Мурманской области). В кн.: *Тр. 6-й Междунар. конф. «Проблемы управления и моделирования в сложных системах»*. Самара: СНЦ РАН; 2004:370–375.
32. Рамазанов Р.Р. Агентное моделирование движения факторов производства. *Искусственные общества*. 2018;13(4):1–11. <https://doi.org/10.18254/S0000135-7-1>
33. Лычкина Н.Н. Компьютерное моделирование социально-экономического развития регионов в системах поддержки принятия решений. В кн.: *Матер. III Междунар. конф. «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'04. Москва, 28–30 января 2004 г.* М.: ИПУ РАН; 2004:1009–1022. URL: <https://publications.hse.ru/pubs/share/folder/kne7mzhzot/144082966.pdf>
34. Wolf S., Fürst A., Mandel A., Lass W., Lincke D., Pablo-Martí F., Jaeger C. A multi-agent model of several economic regions. *Environmental Modelling & Software*. 2013;44:25–43. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.12.012>

References

1. Kudaeva M., Redozubov I. *The influence of migration flows on economic activity and the labor market in Russia in general and in the regional aspect. A series of reports on economic research*. RF Central Bank. December, 2021. 45 p. (In Russ.). https://cbr.ru/StaticHtml/File/131869/wp_khab_dec.pdf
2. Aleshkovskii I.A., Grebenyuk A.A., Kravets V.A., Maksimova A.S. Foreign migrants in the Russian labour market: the estimate of their overall number and their contribution to Russia's GDP. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*. 2019;12(6):197–208. <https://doi.org/10.15838/esc.2019.6.66.11>
3. Yakovleva E.B. History and theories of migration processes. *Teoriya i praktika obshchestvennogo razvitiya*. 2017;(3):1–5. (In Russ.). <https://doi.org/10.24158/tipor.2017.3.2>
4. Korepina T.A. Comparative analysis of approaches to migration simulation. *Voprosy territorial'no go razvitiya*. 2017;(1(36)):1–6. (In Russ.)
5. Converse P.D. New laws of retail gravitation. *Journal of Marketing*. 1949;14(3):379–384. <https://doi.org/10.1177/002224295001400303>
6. Reilly W.J. *The law of retail gravitation*. NY: Knickerbocker; 1931. 75 p. [https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uc1.\\$b50138&view=1up&seq=19](https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uc1.$b50138&view=1up&seq=19)
7. Zipf G.K. *Human behavior and the principle of least effort*. Cambridge, (Mass.): Addison-Wesley Press; 1949. 573 p. URL: <https://archive.org/details/in.ernet.dli.2015.90211/page/n17/mode/2up>
8. Andrienko Yu., Guriev S. *Development of an applied model of internal and external migration flows of the population for the regions of the Russian Federation*.

Report on the project under the independent economic think tanks support program. Moscow: MONF: TsEFIR; 2006. 52 p. (In Russ.)

9. Vakulenko E.S., Mkrtchyan N.V., Furmanov K.K. Modeling registered migration flows between regions of the Russian Federation. *Applied Econometrics*. 2011;(1(21)):35–55. (In Russ.)

10. Burkin M.M., Molchanova E.V., Kruchek M.M. Integral criterion of the influence of social, economic and environmental factors on the regional demographic processes. *Ekologiya cheloveka*. 2016;(6):39–46. (In Russ.). <https://doi.org/10.33396/1728-0869-2016-6-39-46>

11. Ingkhart R.F., Ponarin E.D., Ravlik M.V. Regression models in evaluation of international migration. *Sotsiologicheskie issledovaniya*. 2014;(11(367)):22–31. (In Russ.)

12. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Sushko E.D., Vasenin V.A., Borisov V.A., Roganov V.A. Supercomputer technologies in social sciences: agent-oriented demographic models. *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk*. 2016;86(3):252–262. (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/S0869587316030075>

13. Gafarova E.A. Simulation models of integrated regional development. *Upravlenie bol'shimi sstemami*. 2013;(45):206–221. (In Russ.)

14. Vasil'eva M.V. The role of economic-mathematical methods and models in the management of economic entities and processes. *Ekonomicheskie i gumanitarnye nauki*. 2012;(5(244)):95–100. (In Russ.)

15. Abdulova L.R., Nizamutdinov M.M. The regional migration processes research and casting model development using multivariate analysis (on example the Republic of Bashkortostan). *Audit i finansovyi analiz*. 2015;(1):79–84. (In Russ.)

16. Fattakhov R. V., Nizamutdinov M.M., Atnabaeva A. R., Akhmetzyanova M.I. Assessment and forecasting of the Russian regions attractiveness as a factor of interregional migration. *Management Sciences*. 2021;11(4):55–70. (In Russ.). <https://doi.org/10.26794/2404-022X-2021-11-4-55-70>

17. Terekhov V.I., Zhukov R.V. Methods of preparing the data for processing by spiking neuron networks. *Neirokomp'yutery: razrabotka, primeneniye*. 2017;(2):31–36. (In Russ.)

18. Kurnikov D.S., Petrov S.A. The use of neural networks in the economy. *Juvenis Scientia*. 2017;(6):10–12. (In Russ.)

19. Review of the book Human behavior and the principle of least effort (1949), by G.K. Zipf. *Journal of Consulting Psychology*. 1949;13(3):224. <https://doi.org/10.1037/h0052803>

20. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Sushko E.D. Simulation of demographic processes using the agent-based approach. *Federalizm*. 2014;(4(76)):37–46. (In Russ.)

21. Lebaron B., Tesfatsion L. Modeling macroeconomies as open-ended dynamic systems of interacting agents. *American Economic Review*. 2008;98(2):246–250. <https://doi.org/10.1257/aer.98.2.246>

22. Diaz B.A. *Agent-based models on social interaction and demographic behaviour*. Diss. PhD. Vienna: Vienna Univ. of Technol.; 2010. 93 p. URL: https://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_184665.pdf

23. Corrado Di M., Stryszowski P. Migration, human capital accumulation and economic development. *Journal of Development Economics*. 2009;90(2):306–313. <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2008.06.008>

24. Golz P., Procaccia A.D. Migration as submodular optimization. In: *Proc. of the AAAI Conf. on Artificial Intelligence*. 2019;33:549–556. <https://doi.org/10.1609/aaai.v33i01.3301549>

25. Nekrasova E.V. Optimization of internal migration as a mechanism for solving the problems of single-industry towns in the Sverdlovsk region. *Economy of Regions*. 2012;(2):315–320 (in Russ.)

26. Hirst M.A. A Markovian analysis of inter-regional migration in Uganda. *Geografiska Annaler. Series B, Human Geography*. 1976;58B(2):79–94. <https://doi.org/10.1080/04353684.1976.11879414>

27. Kovanova E.S., El'dyaeva N.A. Assessment and analysis of interregional labour migration of the region's population. *Vestnik Moskovskogo finansovoyuridicheskogo universiteta*. 2018;(1):171–181. (In Russ.)

28. Butusov O.B., Nikiforova O.P., Redikultseva N.I. Mathematical methods for the analysis of migration processes on basis of demographic data. *Izvestiya MGTU "MAMI"*. 2015;4(1(234)): 21–25. (In Russ.)

29. Rossoshanskaya (Chekmareva) E.A. Agent-based models in municipal administration. *Problemy razvitiya territorii*. 2017;(6(92)):121–135. (In Russ.). URL: <http://pdt.vscs.ac.ru/article/2410>

30. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L., Akopov A.S., Rovenskaya E.A., Strelkovskiy N.V. Aggregated agent-based simulation model of migration flows of the European Union countries. *Ekonomika i matematicheskie metody*. 2019;55(1):3–15. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S042473880004044-7>

31. Gorokhov A.V., Putilov V.A., Shestakov A.A. System dynamics in the management of regional development (on the example of the Murmansk region). In: *Proc. 6th Int. Conf. "Complex systems: control and modeling problems"*. Samara: SNTs RAN; 2004:370–375. (In Russ.)

32. Ramazanov R.R. Agent-based modeling of movement of production factors. *Artificial Societies*. 2018;13(4):1–11. (In Russ.). <https://doi.org/10.18254/S0000135-7-1>

33. Lychkina N.N. Computer modeling of the socio-economic development of regions in decision support systems. In: *Mater 3rd Int. Conf. "Identification of systems and control tasks" SicPRO'04*. Moscow, January 28–30, 2004. Moscow: IPU RAN; 2004:1009–1022. (In Russ.). URL: <https://publications.hse.ru/pubs/share/folder/kne7mzhzot/144082966.pdf>

34. Wolf S., Fürst A., Mandel A., Lass W., Lincke D., Pablo-Martí F., Jaeger C. A multi-agent model of several economic regions. *Environmental Modelling & Software*. 2013;44:25–43. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.12.012>

Информация об авторах

Низамутдинов Марсель Малихович – канд. техн. наук, доцент, Институт социально-экономических исследований – обособленное структурное подразделение ФГБНУ Уфимского федерального исследовательского центра РАН, 450054, Уфа, Проспект Октября, д. 71, Российская Федерация; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5643-1393>; e-mail: marsel_n@mail.ru

Ахметзянова Миляуша Ильгамовна – младший науч. сотрудник сектора экономико-математического моделирования, Институт социально-экономических исследований – обособленное структурное подразделение ФГБНУ Уфимского федерального исследовательского центра РАН, 450054, Уфа, Проспект Октября, д. 71, Российская Федерация; e-mail: ms.milyash1997@mail.ru

Аитова Юлия Сергеевна – младший науч. сотрудник сектора экономико-математического моделирования, Институт социально-экономических исследований – обособленное структурное подразделение ФГБНУ Уфимского федерального исследовательского центра РАН, 450054, Уфа, Проспект Октября, д. 71, Российская Федерация; e-mail: yushaaitova@gmail.com

Information about the authors

Marsel M. Nizamutdinov – PhD (Eng.), Associate Professor, Institute of Social and Economic Studies – Separate Structural Division of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 71 October Ave., Ufa 450054, Russian Federation; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5643-1393>; e-mail: marsel_n@mail.ru

Milyausha I. Akhmetzyanova – Junior Researcher of Economic and Mathematical Modelling Sector, Institute of Social and Economic Studies – Separate Structural Division of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 71 October Ave., Ufa 450054, Russian Federation; e-mail: ms.milyash1997@mail.ru

Yulia S. Aitova – Junior Researcher of Economic and Mathematical Modelling Sector, Institute of Social and Economic Studies – Separate Structural Division of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 71 October Ave., Ufa 450054, Russian Federation; e-mail: yushaaitova@gmail.com

Поступила в редакцию 07.07.2022; поступила после доработки 21.08.2022; принята к публикации 08.09.2022
Received 07.07.2022; Revised 21.08.2022; Accepted 08.09.2022