

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2020, №6, Том 12 / 2020, No 6, Vol 12 <https://esj.today/issue-6-2020.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/29ECVN620.pdf>

DOI: 10.15862/29ECVN620 (<http://dx.doi.org/10.15862/29ECVN620>)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Низамутдинов М.М., Атнабаева А.Р., Ахметзянова М.И. Исследование миграционного поведения населения и оценка уровня привлекательности территорий на основе методов агент-ориентированного моделирования // Вестник Евразийской науки, 2020 №6, <https://esj.today/PDF/29ECVN620.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/29ECVN620

**For citation:**

Nizamutdinov M.M., Atnabaeva A.R., Akhmetzianova M.I. (2020). Research of migration behavior of the population and assessment of the level of attractiveness of territories based on the methods of agent-based modeling. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 6(12). Available at: <https://esj.today/PDF/29ECVN620.pdf> (in Russian) DOI: 10.15862/29ECVN620

*Исследование выполнено в рамках государственного задания № 075-01211-20-01 ИСЭИ УФИЦ РАН на 2020 г.*

УДК 314

ГРНТИ 7

**Низамутдинов Марсель Малихович**

ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук», Уфа, Россия  
Институт социально-экономических исследований – обособленное структурное подразделение  
Заведующий сектором экономико-математического моделирования

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: [marsel\\_n@mail.ru](mailto:marsel_n@mail.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5643-1393>

**Атнабаева Алсу Расилевна**

ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук», Уфа, Россия  
Институт социально-экономических исследований – обособленное структурное подразделение  
Научный сотрудник

E-mail: [alsou@mail.ru](mailto:alsou@mail.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7042-1180>

**Ахметзянова Миляша Ильгамовна**

ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук», Уфа, Россия  
Институт социально-экономических исследований – обособленное структурное подразделение  
Младший научный сотрудник

E-mail: [ms.milyash1997@mail.ru](mailto:ms.milyash1997@mail.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4875-7876>

## **Исследование миграционного поведения населения и оценка уровня привлекательности территорий на основе методов агент-ориентированного моделирования**

**Аннотация.** Миграционные процессы играют значимую роль в социально-экономическом и демографическом развитии Российской Федерации. По данным Росстата в более чем в 50 % субъектах РФ за 2019 г. наблюдается миграционная убыль населения. Так же можно заметить, что наиболее привлекательными для населения являются крупные города с высоким уровнем социально-экономического развития. В связи с этим целью исследования является оценка факторов взаимовлияния миграционного поведения населения и социально-

экономического развития территории на базе методов агент-ориентированного моделирования. В качестве объекта исследования была выбрана Республика Башкортостан, как регион с самым высоким уровнем миграционной убыли в Приволжском федеральном округе. Согласно стратегии Республики Башкортостан на период до 2030 г. перед Правительством РБ стоит сложная задача принятия эффективных управленческих решений, которые приведут к повышению социально-экономического развития территорий и, следовательно, к повышению уровня миграционного прироста.

Отличительной особенностью данного исследования является использование агент-ориентированного моделирования (для учета индивидуальных характеристик агентов), нечеткой логики (для формирования правил поведения агентов) и ГИС-карт (для учета географического местоположения). Разработана модульная схема функционирования экономико-демографической модели, в которой описаны события, агенты, которые в них участвуют, и методы, с помощью которых они были реализованы. Разработан алгоритм реализации блока «Миграция», в котором описана логика миграционного поведения агента «Человек» и его реакция на изменение социально-экономических показателей, учитываемых в рамках агента «Муниципалитет». По результатам исследования обоснованы сценарии развития муниципальных районов Республики Башкортостан на основе данных Министерства экономического развития и инвестиционной политики РБ, а также программы «Комплексное развитие моногородов Республики Башкортостан».

**Ключевые слова:** миграция; агент-ориентированная модель; алгоритм; сценарный прогноз

## Введение

Миграционные процессы играют значимую роль в социально-экономическом и демографическом развитии Российской Федерации. По данным статистики, в силу изменений политических, социальных, экономических, экологических обстоятельств, уровень миграции населения стремительно растет. По приблизительным данным в России ежегодно участвуют в миграционном процессе около 4 миллионов человек, что составляет 3 % от общей численности населения, из них 3 миллиона человек – это люди трудоспособного возраста [1]. Необходимо отметить, что в 2019 году только в 39 субъектах РФ наблюдался положительный миграционный прирост, что говорит о направленности миграционных потоков в регионы с высоким уровнем социально-экономического развития.

На сегодняшний день в Республике Башкортостан (РБ) наблюдается стабильная миграционная убыль населения [2]. В 2018 году согласно официальной статистике миграционный прирост (убыль) составил -7,2 тыс. чел., что в пять раз больше, чем в 2017 году. В 2019 году число уехавших снизилось на 8 % и составило 11,8 тыс. чел., однако миграционная убыль сохранилась<sup>1</sup>. Так же необходимо отметить, что из числа выбывших 54 % составляют женщины старше 14 лет. При этом основная миграционная нагрузка приходится на г. Уфа, г. Стерлитамак, г. Нефтекамск, г. Салават, Туймазинский, Бирский, Ишимбайский и Уфимский районы.

В соответствии с основными положениями Стратегии социально-экономического развития Республики Башкортостан на период до 2030 года в числе отрицательных факторов социально-экономического развития можно отметить такие, как снижение численности и

---

<sup>1</sup> Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики URL: <https://bashstat.gks.ru/storage/mediabank/DchMOFzZ/Dinamika-raspredeleniya-migracionnyh-peredvizhenij-naseleniya-v-vozraste-14-let-i-starshe.pdf>.

миграционный отток населения. В связи с этим определены основные направления развития экономики РБ, в числе которых выделяются:

- увеличение объемов привлеченных инвестиций в РБ;
- создание агломераций на основе интеграции крупнейших городов и промышленных центров, а также повышение привлекательности территорий для мигрантов;
- реализация потенциала монопрофильных муниципальных образований РБ на основе создания территорий опережающего социально-экономического развития.

Вышеизложенное определяет актуальность исследования влияния социально-экономического развития отдельных территорий на миграционное поведение населения региона с помощью имитационного моделирования.

На сегодняшний день учеными проведен большой объем исследований в области моделирования поведения населения и развития регионов. Наиболее известными исследователями, занимающимися изучением миграционного поведения населения, являются:

1. Василенко П.В., применяющий гравитационные модели для анализа внутриобластных миграций на примере Новгородской и Псковской областей [3].
2. Огородников П.И., Катаева И.Н. и Самсонова Т.А., которые моделируют общую миграцию населения на основе регрессионных моделей панельных данных [4].
3. Некрасова Е.В., исследующая оптимизацию внутренней миграции как механизм решения проблем моногородов в Свердловской области [5].
4. Чжаохао Фу и Линсинь Хао, исследующие миграцию из сельских районов Китая в городские на основе агент-ориентированного моделирования (АОМ) [6].
5. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д. и Агеева А.Ф., которые моделируют трудовую миграцию из Китая в Россию на основе АОМ [7].
6. Дорошенко Т.А., разрабатывающий АОМ образовательной миграции населения региона [8].
7. Сварц П., предложивший гибридную АОМ миграционных процессов на основе нейронных сетей [9].

Однако отличительной особенностью нашего исследования является попытка объединения методов АОМ, нечеткой логики (НЛ) и геоинформационных систем (ГИС). Агент-ориентированное моделирование впервые появилось в 1944 году. Основным преимуществом данного вида имитационных моделей при исследовании процессов демографического и экономического развития региона является возможность изучить индивидуальное поведение агентов в зависимости от изменения входных параметров [10]. Так как поведение агентов не всегда возможно описать количественными данными, то используется нечеткая логика. ГИС-технологии позволяют учитывать географическое местоположение и удаленность места жительства агента от крупных городов [11]. С помощью АОМ на базе геоинформационных технологий можно разработать прототип системы, позволяющий спрогнозировать миграционное поведение населения.

Разработанная агент-ориентированная модель региона представляет собой цифровой двойник социально-экономической системы Республики Башкортостан, в котором реализованы демографические и экономические процессы, влияющие на развитие региона через агентов «Человек», «Предприятие», «Муниципалитет» и «Регион» (табл. 1).

Таблица 1

Агенты имитационной модели региона

Агент	Параметры	Функции
Человек (масштаб 1 к 1000)	Пол, возраст, место жительства, уровень знаний, вид экономической деятельности, желаемый уровень заработной платы, фактический уровень заработной платы, желаемое количество детей, реальное количество детей, желаемый уровень жизни.	Рождение нового агента, местожительство, обучение, трудоустройство, смерть, трудовая миграция, образовательная миграция, внутрирегиональная миграция.
Предприятие (сформированных по 15 видам экономической деятельности)	Количество рабочих мест, среднемесячная заработная плата, объём инвестиций, объём отгруженных товаров, месторасположение, темпы изменения среднемесячной заработной платы, число рабочих мест и объём инвестиции.	Создание новых рабочих мест, трудоустройство.
Муниципалитет (56 районов и 8 городов)	Общий коэффициент рождаемости/смертности, среднесписочная численность работников организаций, среднемесячная заработная плата работников организаций, объём выбросов в атмосферу загрязняющих веществ, отгружено товаров собственного производства, оборот розничной торговли, инвестиции в основной капитал, доходы местного бюджета, уровень безработицы, коэффициент привлекательности территории.	Инвестирование/субсидирование.
Регион (единственный)	Численность населения, валовый региональный продукт.	Субсидирование муниципальных бюджетов.

Составлено авторами

Для каждого агента в модели заложены «правила жизни» и схемы взаимодействия с внешней средой. На рис. 1 представлена модульная схема функционирования АОМ региона, в которой представлены события, реализуемые в модели, а также взаимосвязь агентов и инструментов моделирования. Так, блоки «Миграция» и «Трудоустройство» реализованы в АОМ с применением нечеткой логики [12] и геоинформационных технологий, блок «Демография» разделен на два подблока – «Рождаемость» и «Смертность» [13].

В блоке «Миграция» реализован механизм поведения агента «Человек» при принятии им решения о миграции по причине поиска работы. Алгоритм симуляции миграционных процессов на региональном уровне в АОМ начинается с наполнения модели агентами путем считывания сведений из базы данных и формирования начального состояния модели (рис. 2). Далее осуществляется оценка уровня трудовой привлекательности территории для агента «Муниципалитет» по формуле 1, которая была получена на основе компонентного анализа [1].

$$K_i = 0,651 \times X_{1i}^P + 0,658 \times X_{2i}^P - 0,595 \times X_{3i}^P + 0,845 \times X_{4i}^P + 0,823 \times X_{5i}^P \quad (1)$$

где  $i$  – номер муниципального образования РБ;

$K_i$  – коэффициент привлекательности  $i$ -го муниципального образования РБ;

$X_{1i}^P$  – среднесписочная численность работников организаций на 1000 чел. населения (без субъектов малого предпринимательства);

$X_{2i}^P$  – среднемесячная заработная плата работников организаций (без субъектов малого предпринимательства);

$X_{3i}^P$  – объём выбросов в атмосферу загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников, на 1000 чел. населения;

$X_{4i}^P$  – отгружено товаров собственного производства, выполнено работ и услуг собственными силами на 1000 чел. населения (без субъектов малого предпринимательства);

$X^P_{5i}$  – объём инвестиции в основной капитал, осуществляемые организациями, находящимися на территории муниципального образования (без субъектов малого предпринимательства) на 1000 чел. населения (среднее за 3 года).

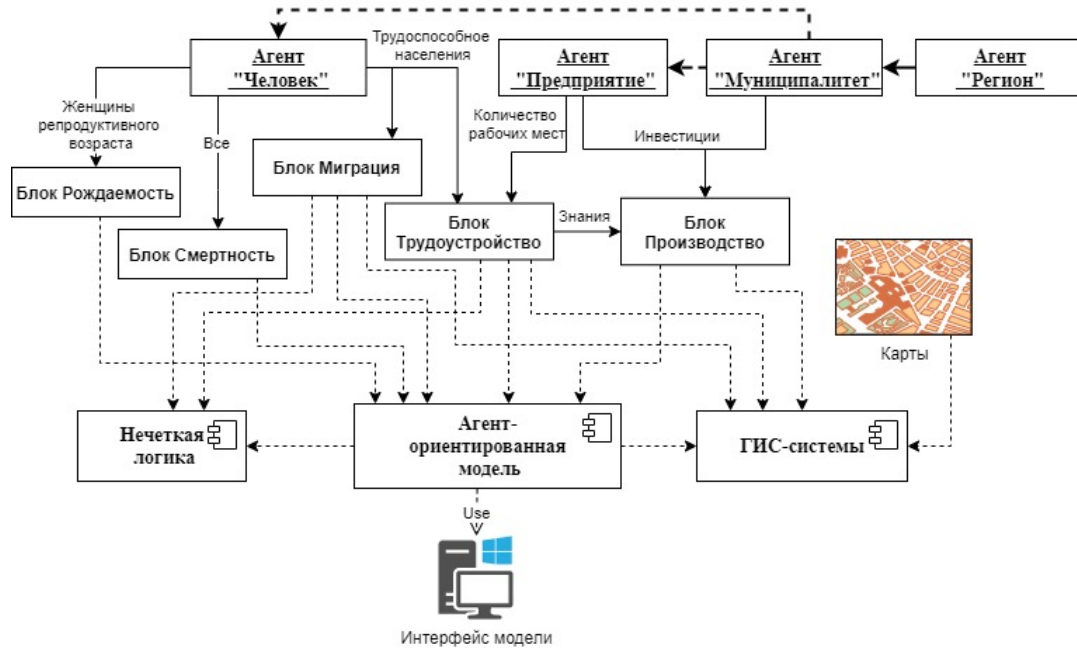


Рисунок 1. Модульная схема функционирования агент-ориентированной модели региона (составлено авторами)

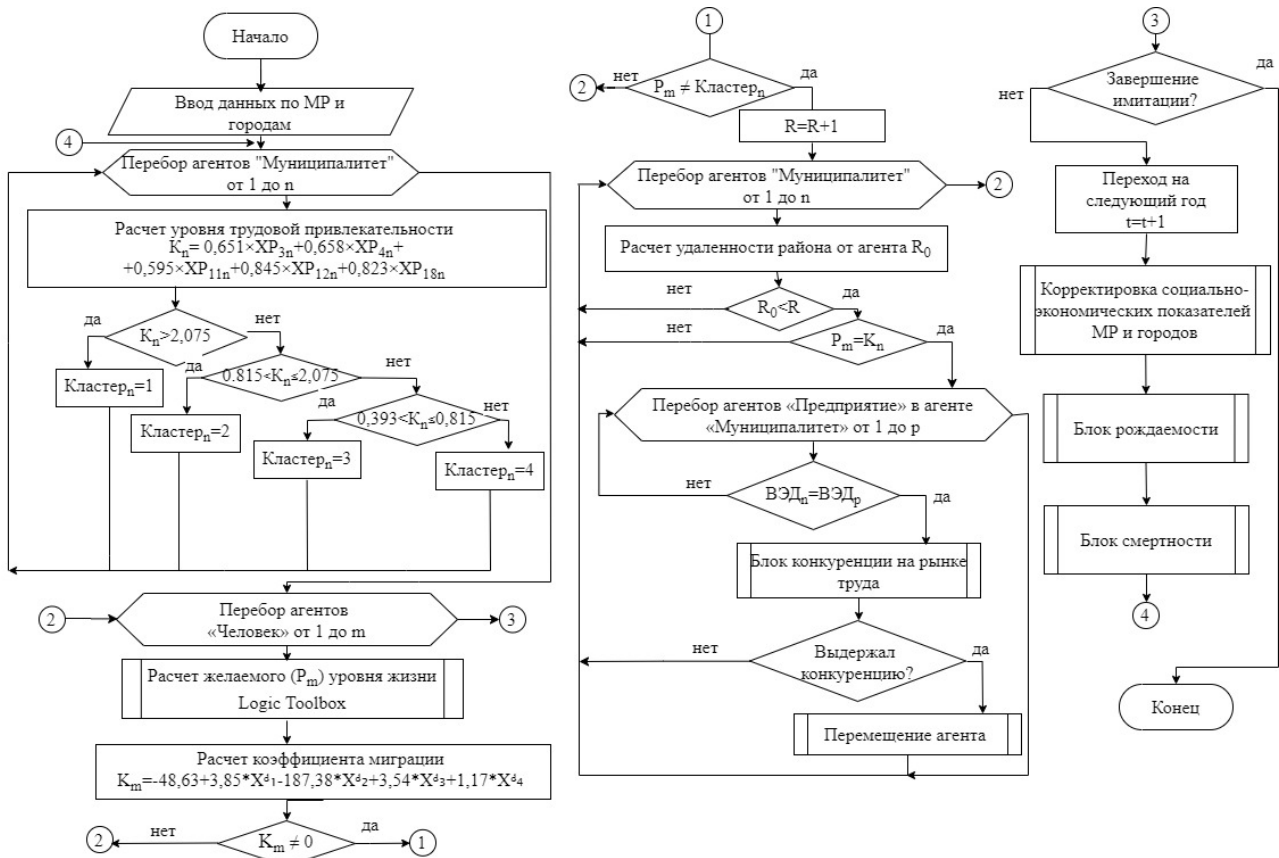


Рисунок 2. Алгоритм поведения агента «Человек» при принятии решения о миграции (составлено авторами)

Оценка уровня привлекательности в АОМ проводится ежегодно на основе социально-экономических показателей территории за предыдущий период. Далее осуществляется поиск агентов с высоким уровнем миграционной активности, желаемый уровень жизни которых больше коэффициента привлекательности территории проживания. Оценка желаемого уровня жизни осуществляется как на основе количественных, так и качественных показателей, в связи с чем для расчета используется модуль нечеткой логики, описанный в статье [14].

Следующим этапом является расчет коэффициента выбытия для всех агентов «Человек» по социально-экономическим показателям РБ [13]:

$$K_{2t} = -48,63 + 3,85 \times X^{d_1} - 187,38 \times X^{d_2} + 3,54 \times X^{d_3} - 1,17 \times X^{d_4}, \quad (2)$$

$X^{d_1}$  – объем выбросов загрязняющих атмосферный воздух веществ, отходящих от стационарных источников, на 1 млн рублей валового регионального продукта;

$X^{d_2}$  – отношение величины валового регионального продукта к величине валового внутреннего продукта;

$X^{d_3}$  – общая площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на одного жителя;

$X^{d_4}$  – коэффициент напряженности на рынке труда.

Далее на основе полученного коэффициента выбытия определяется миграционная подвижность населения ( $P_m$ ) с использованием дискретного распределения вероятности Бернулли, генерирующим 1 (активен) с вероятностью успеха  $K_{2t}$  (коэффициент выбытия в период времени  $t$ ), а 0 (неактивен) с вероятностью отказа  $q = 1000 - p$ . В случае, если желаемый уровень жизни не соответствует (больше) коэффициенту привлекательности территории и миграционная подвижность агента равна 1, то для него реализуется механизм поиска новой территории для проживания.

### Результаты и обсуждения

Для прогнозирования миграционного поведения населения РБ использовались данные официальной статистики Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по РБ и инвестиционных паспортов муниципальных районов и городов РБ.

Таблица 1

#### Фрагмент результатов ретроспективного прогноза и фактических данных по уровню миграции, человек

	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Абзелиловский МР					
Прогноз	1120	1134	1035	1064	762
Факт	1143	1154	1077	1078	790
Альшеевский МР					
Прогноз	1252	1201	1163	1395	1619
Факт	1301	1232	1226	1356	1631
Салават					
Прогноз	2336	2222	1901	2071	2079
Факт	2351	2266	2050	1972	2024
Уфа					
Прогноз	20777	20928	17391	20788	19813
Факт	20413	21357	18680	19836	19287

Составлено авторами на основе результатов АОМ

Разработанная агент-ориентированная модель позволяет проводить вычислительные эксперименты по оценке влияния социально-экономических факторов на миграционную

ситуацию в регионе. Перед проведением вычислительных экспериментов необходимо проверить адекватность модели с целью обеспечения точности получаемых прогнозных значений (табл. 1).

Как видно из таблицы 1, расчетные данные отличаются от фактических примерно на 10 %, что подтверждает приемлемую прогностическую способность модели.

### Сценарий № 1. «Комплексное развитие моногородов»

В ноябре 2016 года Президиумом Совета Российской Федерации по стратегическому развитию и приоритетным проектам утвержден паспорт программы «Комплексное развитие моногородов» в которую были включены города Белебей, Белорецк, Благовещенск, Кумертау, Нефтекамск, Учалы и приравненные к моногородам территории: Агидель, Сибай и ЗАТО Межгорье. Так, в соответствии с паспортом программы, целью проекта является создание 35 тыс. рабочих мест и увеличение объема привлеченных инвестиций до 23 млрд руб. к 2030 году, что на 45,6 % превышает значение 2016 года.

В соответствии с изменениями внесенными в приоритетную региональную программу «Комплексное развитие моногородов Республики Башкортостан» и утвержденную распоряжением Правительства Республики Башкортостан от 11.09.2017 N 870-р., рассмотрим сценарии развития городов Белорецк в рамках Белорецкого района, Агидель и Кумертау, так как для них приведен реестр инвестиционных проектов и намерений, реализуемых и планируемых к реализации в монопрофильных муниципальных образованиях и приравненных к ним территориях Республики Башкортостан до 2023 года (табл. 2). Для других городов данные известны только до 2020 года.

Таблица 2

#### Сценарные условия стратегии «Комплексное развитие моногородов» для Белорецкого района и города Агидель

	Показатели	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Белорецкий район	Объём инвестиций в основной капитал, тыс. руб.	2662807	3018807	3273807	3320807
	Среднесписочная численность работников организаций, чел.	21635	21675	21736	21675
	Коэффициент привлекательности	0,80	0,85	0,83	0,86
	Прогноз числа выбывших внутри региона, чел.	1827	1819	1808	1800
Город Агидель	Объём инвестиций в основной капитал, тыс. руб.	193303	202968	213117	223773
	Среднесписочная численность работников организаций, чел.	1840	2066	1940	2203
	Коэффициент привлекательности	0,68	0,88	0,82	1,02
	Прогноз числа выбывших внутри региона, чел.	741	738	734	734

Составлено авторами на основе результатов АОМ

Анализ результатов реализации данной стратегии показывает, что успешная реализация проектов в городе Агидель позволит повысить значение коэффициента привлекательности в полтора раза. При этом изменение кластера с 4-го на 2-ой говорит о повышении привлекательности территории для мигрантов трудоспособного возраста, что подтверждается ростом числа приехавших в период с 2020 по 2023 год (с 480 в 2019 г. до 504 в 2023 г.). Для Белорецкого района также характерна смена кластера привлекательности с 3-го на 2-ой, снижение числа выбывших как на уровне региона, так и за его пределы и увеличение числа приехавших за 3 года на 3,5 %.

В основу сценария для города Кумертау заложены прогнозные значения из Постановления Правительства РБ о Стратегии социально-экономического развития Республики Башкортостан на период до 2030 года, согласно которому реализация проектов

инвесторов позволит к 2026 году привлечь более 1,15 млрд рублей инвестиций и создать порядка 875 новых рабочих мест в городе Кумертау (табл. 3).

Таблица 3

Сценарные условия для развития города Кумертау

Период	Объём инвестиций в основной капитал, млн руб.	Среднемесячная заработная плата, руб.	Среднесписочная численность работников организаций, чел.	Коэффициент привлекательности	Прогноз числа выбывших, чел.	Прогноз числа прибывших, чел.
2020 г.	2576,68	36656,66	11788	1,06	1155	1298
2021 г.	2806,68	40127,90	11876	1,10	1156	1303
2022 г.	3036,68	43927,85	11963	0,99	1152	1309
2023 г.	3266,68	48087,65	12051	1,17	1154	1314
2024 г.	3496,68	52641,36	12138	1,08	1151	1320
2025 г.	3726,68	57626,29	12226	1,26	1154	1326
2026 г.	3956,68	63083,27	12313	1,17	1152	1332

Составлено авторами на основе результатов АОМ

Анализ результатов реализации данной стратегии показывает, что на период до 2026 года наблюдается нестабильное увеличение коэффициента привлекательности и незначительное уменьшение числа выбывших из города. Данные колебания указывают на то, что решения принятые для развития города имеют низкий уровень эффективности и любое развитие близлежащих муниципальных районов приведет к повышению уровня миграции.

Сценарий № 2 «Базовый»

По данным Министерства экономического развития и инвестиционной политики РБ, сегодня в регионе реализуется более 600 инвестиционных проектов, которые затрагивают все муниципальные образования. Однако не по всем проектам данные находятся в свободном доступе, в связи с чем возникает сложность разработки сценарных прогнозов развития Республики Башкортостан на краткосрочный и долгосрочный период. Для этого было принято решение спрогнозировать миграционную активность населения в Республике Башкортостан, применяя темповые показатели.

Для прогнозирования уровня миграционной активности населения были использованы прогнозные значения социально-экономических показателей Республики Башкортостан и темпы их изменения, представленные Министерством экономического развития и инвестиционной политики Республики Башкортостан по базовому сценарию.

Входными параметрами, которые позволят смоделировать ситуацию сохранения темпов развития территории, являются объём инвестиций в основной капитал, количество рабочих мест и средний уровень заработной платы, которые рассчитываются по формуле 3.

$$Ti = \frac{\sum_{t=5}^1 \frac{Vi_{(t-1)}}{Vi_t}}{5}, Tr = \frac{\sum_{t=5}^1 \frac{Hr_{(t-1)}}{Hr_t}}{5}, Ts = \frac{\sum_{t=5}^1 \frac{Sr_{(t-1)}}{Sr_t}}{5} \quad (3)$$

где  $Ti$  – среднее значение темпа изменения объёма инвестиций;

$Tr$  – среднее значение темпа изменения числа рабочих мест в организациях;

$Tr$  – среднее значение темпа изменения среднего уровня заработной платы;

$Vi$  – объём инвестиций в основной капитал осуществляемые организациями, находящимися на территории муниципального образования;



$Hr$  – число рабочих мест в организациях;

$Sr$  – среднемесячная заработная плата работников организаций;

$t$  – отчетный период.

Анализ результатов реализации данной стратегии показывает, что на период до 2026 года в большинстве муниципальных районов наблюдается незначительная тенденция к снижению коэффициента привлекательности территории, что может говорить о выравнивании муниципальных районов по уровню социально-экономического развития. Это также подтверждается снижением уровня внутрирегиональной миграции. Сохранение текущих темпов развития муниципальных образований достаточно для решения задачи концентрации населения в крупных городах. Однако, наравне со снижением уровня внутрирегиональной миграции наблюдается рост межрегиональной миграции, что говорит о принятии решения населением поиска места жительства вне региона в связи с низким уровнем привлекательности территории.

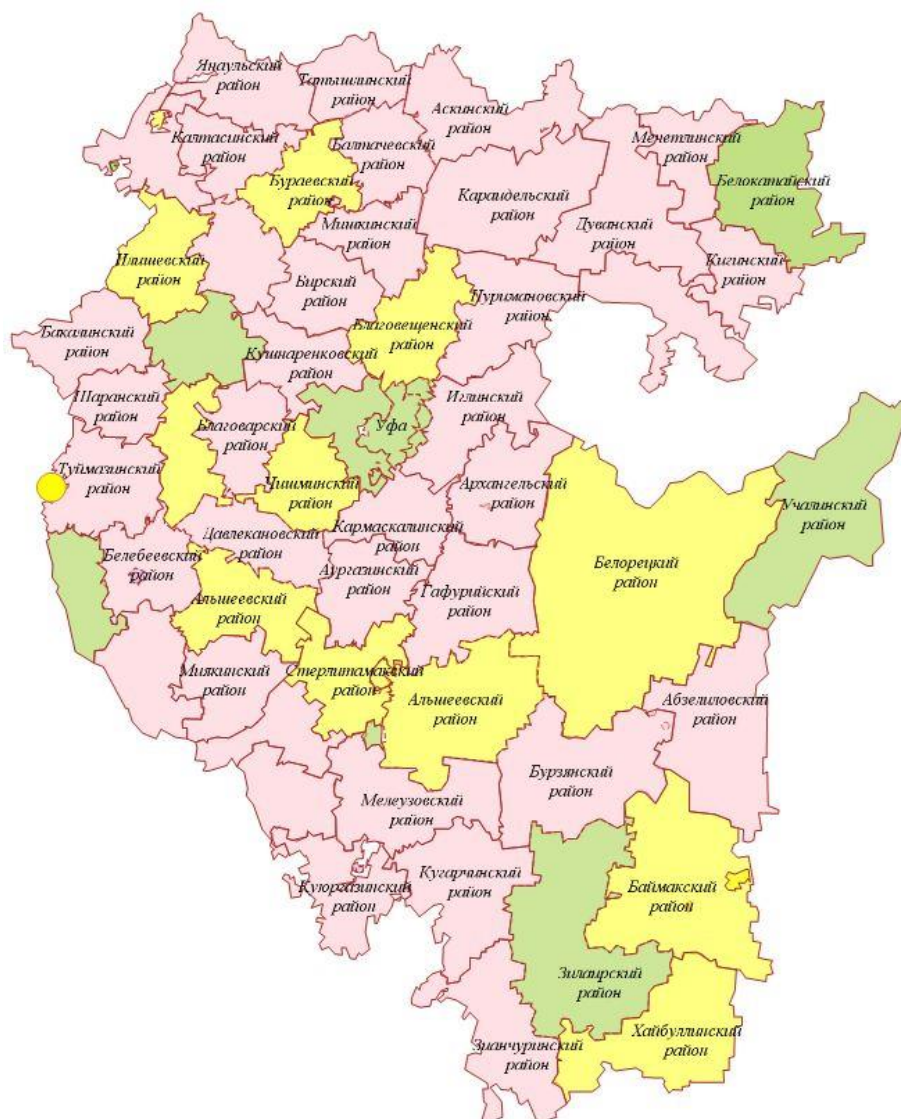
**Таблица 4**

**Результаты модельных расчетов по базовым параметрам (число выбывших внутри региона, чел.)**

Муниципальные образования	Число выбывших (внутри региональная)	Число выбывших (межрегиональная)	Коэффициент привлекательности	Число прибывших	Число выбывших (внутри региональная)	Число выбывших (межрегиональная)	Коэффициент привлекательности	Число прибывших								
									2020 г.				2026 г.			
									Абзелиловский МР	758	1046	0,29	1040	516	1027	0,16
Альшеевский МР	1601	355	0,58	929	1305	360	0,44	956								
Архангельский МР	703	155	0,28	759	544	140	0,24	781								
Аскинский МР	682	320	0,34	498	487	325	0,25	514								
Аургазинский МР	999	292	0,31	988	768	279	0,32	1017								
Учалинский МР	2176	1492	1,50	1712	2284	1574	2,03	1755								
Федоровский МР	698	178	0,19	564	482	173	0,23	581								
Хайбуллинский МР	795	506	1,16	656	658	559	0,51	675								
Чекмагушевский МР	1117	184	0,70	985	1032	186	0,93	1011								
Чишминский МР	1884	364	0,56	1466	1741	309	0,41	1503								
Шаранский МР	882	204	0,51	644	746	181	0,29	661								
Янаульский МР	802	665	0,65	583	691	636	0,42	599								
г. Уфа	19691	8524	1,92	23270	19422	9314	1,24	23873								
г. Агидель	772	281	0,64	500	914	213	1,02	510								
г. Кумертау	1165	971	1,13	1298	1080	1015	0,77	1333								
г. Нефтекамск	2124	1715	1,01	3496	1984	1690	0,69	3587								
г. Октябрьский	1089	1570	0,97	1500	932	1660	0,56	1542								
г. Салават	2085	1479	2,85	2079	2186	1661	1,66	2131								
г. Сибай	1095	1229	0,77	1319	803	1463	0,48	1361								
г. Стерлитамак	4177	2567	1,04	4245	3976	2474	0,70	4354								

*Составлено авторами на основе результатов АОМ*

Сопоставив коэффициент привлекательности МО с интервалами принадлежности к кластерам, которые были получены в ходе компонентного и кластерного анализа в подробно рассмотренном ранее статье [1], каждому МО присвоен номер кластера, где первый кластер, представлен красным цветом; второй – зеленым; третий – желтым; четвертый – розовым.



**Рисунок 3.** Прогнозная оценка уровня привлекательности муниципальных районов и городов РБ на 2026 год (составлено авторами на основе результатов АОМ)

Как мы видим, к 2026 году территории относящихся к первому кластеру не имеется, что говорит о снижении коэффициента привлекательности региона в целом. Потенциальными территориями для включения в этот кластер были г. Уфа и г. Салават, у которых наблюдается самый высокий темп снижения уровня привлекательности и увеличение числа выбывших, как внутри региона, так и за его пределами.

### Заключение

В рамках разработки многоагентной экономико-демографической модели региональной социально-экономической системы рассмотрены основные характеристики агентов и представлена модульная схема их взаимодействия. Разработан алгоритм функционирования АОМ, описывающий логику поведения агентов «Муниципалитет» и «Человек» при реализации сценариев трудовой миграции. Также представлены результаты экспериментальных расчетов по оценке динамики социально-экономического развития региона (на примере Республики Башкортостан) на основе анализа возможных сценариев развития экономической ситуации в

РФ на средне- и долгосрочную перспективу. Разработанная АОМ может быть использована для оценки эффективности программ развития муниципальных образований.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ахметзянова М.И., Атнабаева А.Р. Исследование привлекательности муниципальных районов и городов Республики Башкортостан с применением компонентного и кластерного анализов // Вестник Евразийской науки. – 2020. – №5. – URL: <https://esj.today/PDF/06ECVN520.pdf> (дата обращения: 20.11.20).
2. Аитова Ю.С., Орешников В.В. Использование методов экономико-математического моделирования при разработке прогноза развития муниципального образования // Вестник НГИЭИ. – 2017. – № 10 (77). – С. 89–99.
3. Василенко П.В. Применение гравитационной модели для анализа внутриобластных миграций на примере Новгородской и Псковской // Псковский регионологический журнал. – 2013. – №15. – С. 83–90.
4. Огородников П.И., Катаева И.Н., Самсонова Т.А. Моделирование общей миграции населения на основе регрессионных моделей панельных данных // Экономика региона. – 2008. – №4. – С. 115–122.
5. Некрасова Е.В. Оптимизация внутренней миграции как механизм решения проблем моногородов Свердловской области // Экономика региона. – 2012. – №2(30). – С. 315–320.
6. Чжаохао Фу, Линсинь Хао Агентное моделирование миграции из сельских районов в городские и структуры социальных сетей Китая // Physica A: Статистическая механика и ее приложения. – 2018. – Т. 490. – С. 1061–1075.
7. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Агеева А.Ф. Агент-ориентированный подход при моделировании трудовой миграции из Китая в Россию // Экономика региона. – 2017. – Т. 13. – №2. – С. 331–341.
8. Дорошенко Т.А. Разработка агент-ориентированной модели образовательной миграции населения региона // Вестник Евразийской науки. – 2019. – №5. – URL: <https://esj.today/PDF/17ECVN519.pdf> (дата обращения: 20.11.20).
9. Svarc P. Modeling Migration Using Neural Networks // Charles University in Prague. – 2005. – 14 p.
10. Бахтизин, А.Р. Агент-ориентированные модели // Экономика. – 2008. – 279 с.
11. Дюканова Е.Н., Игонин А.И., Казаков С.Г. Использование ГИС-технологий для оценки миграционных процессов Курской области // Геополитика и экогеодинамика регионов. – Т. 5. – №3. – 2019. – С. 264–271.
12. Низамутдинов М.М., Атнабаева А.Р., Ахметзянова М.И. Исследование процессов межрегиональной миграции на основе имитационного моделирования // Известия Уфимского научного центра РАН. – 2020. – №3. – С. 87–93.
13. Атнабаева А.Р., Низамутдинов М.М. Концептуальные и методические аспекты разработки агент-ориентированной модели демографических процессов на региональном уровне (на примере Республики Башкортостан) // Искусственные общества. – 2019. – Т. 14. – № 4. – С. 16. – URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800007514-4-1/> (дата обращения: 20.11.2020).
14. Атнабаева А.Р., Ахметзянова М.И. Подход к имитационному моделированию трудовой миграции в регионе с применением нечеткой логики // Искусственные общества. – 2020. – Т. 15. – № 4. – URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800011177-3-1/> (дата обращения: 06.12.2020).

### **Nizamutdinov Marsel Malikhovich**

Ufa federal research centre of Russian academy of sciences, Ufa, Russia  
Institute of social and economic researches – subdivision  
E-mail: marsel\_n@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5643-1393>

### **Atnabaeva Alsu Rasilevna**

Ufa federal research centre of Russian academy of sciences, Ufa, Russia  
Institute of social and economic researches – subdivision  
E-mail: alsouy@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7042-1180>

### **Akhmetzianova Miliasha Ilgamovna**

Ufa federal research centre of Russian academy of sciences, Ufa, Russia  
Institute of social and economic researches – subdivision  
E-mail: ms.milyash1997@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4875-7876>

## **Research of migration behavior of the population and assessment of the level of attractiveness of territories based on the methods of agent-based modeling**

**Abstract.** Migration processes play a significant role in the socio-economic and demographic development of the Russian Federation. According to Rosstat, in more than 50 % of the constituent entities of the Russian Federation in 2019, there is a migration decline in the population. It can also be noted that the most attractive for the population are large cities with a high level of socio-economic development. In this regard, the aim of the study is to assess the factors of mutual influence of the migration behavior of the population and the socio-economic development of the territory on the basis of agent-based modeling methods. The Republic of Bashkortostan was chosen as the object of the study, as the region with the highest level of migration loss in the Volga Federal District. According to the strategy of the Republic of Bashkortostan for the period up to 2030, the Government of the Republic of Belarus faces the difficult task of making effective management decisions that will lead to an increase in the socio-economic development of the territories and, consequently, to an increase in the level of migration growth.

A distinctive feature of this study is the use of agent-based modeling (to take into account the individual characteristics of agents), fuzzy logic (to form the rules of behavior for agents) and GIS maps (to take into account the geographic location). A modular scheme for the functioning of the economic-demographic model has been developed, which describes the events, the agents that participate in them, and the methods by which they were implemented. An algorithm for the implementation of the "Migration" block has been developed, which describes the logic of the migration behavior of the "Man" agent and his reaction to changes in socio-economic indicators taken into account within the framework of the "Municipality" agent. According to the results of the study, scenarios for the development of municipal districts of the Republic of Bashkortostan were substantiated on the basis of data from the Ministry of Economic Development and Investment Policy of the Republic of Bashkortostan, as well as the program "Comprehensive development of single-industry towns in the Republic of Bashkortostan".

**Keywords:** migration; agent-based model; algorithm; scenario forecast