



## Искусственные общества. 2013-2025

ISSN 2077-5180

URL - <http://artsoc.jes.su>

Все права защищены

Спецвыпуск Том 19 - Искусственные общества и информационные технологии. 2024

# Роль внешней среды в формировании индивидуальных жизненных траекторий агентов в искусственных обществах

**Россошанская Елена Андреевна**

*ФАНУ «Восточный центр государственного планирования»  
Российская Федерация, Москва*

**Дорошенко Татьяна Андреевна**

*ФАНУ «Восточный центр государственного планирования»  
Российская Федерация, Москва*

**Самсонова Наталья Александровна**

*ФАНУ «Восточный центр государственного планирования»  
Российская Федерация, Москва*

## Аннотация

Статья посвящена исследованию роли внешней среды в формировании индивидуальных жизненных траекторий агентов в искусственных обществах. Метод исследования: контент-анализ научных публикаций по проблемам агент-ориентированного моделирования внешней среды и обобщение собственного опыта компьютерной имитации демографических процессов. В работе раскрываются сущность внешней среды и её основные функции, обсуждаются подходы к имитации среды жизнедеятельности агентов в демографических моделях и её структурные особенности, описывается личный опыт авторов по моделированию компонентов внешней среды, влияющих на поведение агентов-людей в агент-ориентированной демографической модели Дальнего Востока.

**Ключевые слова:** агент-ориентированное моделирование, искусственное общество, демографическая модель, внешняя среда, стратегическое управление, Дальний Восток

Дата публикации: 12.11.2024

Ссылка для цитирования:

Дорошенко Т. А. , Россошанская Е. А. , Самсонова Н. А. Роль внешней среды в формировании индивидуальных жизненных траекторий агентов в искусственных обществах // Искусственные общества. – 2024. – Т. 19. – Спецвыпуск.

URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800032894-2-1/>. DOI: 10.18254/S207751800032894-2

1

## Введение

Индивидуальные жизненные траектории агентов, а также отдельные паттерны и сценарии их поведения в агент-ориентированных демографических моделях [16] формируются в ходе взаимодействия с внешней средой и зависят не только от факторов среды, но и от индивидуальных характеристик агентов. В результате этого достигается неоднородность поведения и принятия решений (разные агенты в одинаковых условиях ведут себя по-разному) – одно из ключевых свойств и достоинств данного класса моделей [10].

2

В настоящее время агент-ориентированные модели становятся всё более востребованы в государственном управлении, поскольку позволяют вырабатывать обоснованные решения и формировать целевые показатели документов стратегического развития по результатам предварительных вычислительных экспериментов на искусственном обществе. Как справедливо отмечают учёные ЦЭМИ РАН, «разработчики стратегии нуждаются в модельном инструменте, который позволил бы проигрывать как различные сценарии изменения внешней среды, так и последствия реализации планируемых управленческих мер для выбора наиболее приемлемого варианта» [11, с. 18].

3

В связи с этим включение внешней среды в агент-ориентированные модели, предназначенные для апробации управленческих решений, приобретает огромное значение не только для развития самого метода, но и для расширения возможностей практического использования разработанных инструментов на пользу государства и общества. Кроме того, в условиях депопуляции чрезвычайно актуальной задачей становится разработка агентных систем поддержки принятия решений в области демографического развития территорий, учитывающих разнообразие факторов рождаемости, смертности и миграции.

4

В данной статье на основе систематизации и обобщения накопленного наукой опыта агент-ориентированного моделирования демографических процессов исследуется роль внешней среды в формировании индивидуальных жизненных траекторий агентов в искусственных обществах. В ходе исследования раскрываются сущность внешней среды и её основные функции, обсуждаются подходы к имитации среды жизнедеятельности агентов в демографических моделях и её структурные особенности, описывается личный опыт авторов по моделированию компонентов внешней среды, влияющих на поведение агентов-людей в агент-ориентированной демографической модели Дальнего Востока.

## Сущность, функции и структура внешней среды

Согласно определению *Найджела Гилберта*, «формально, агент-ориентированное моделирование – это вычислительный метод, который позволяет исследователю создавать, анализировать и применять для проведения экспериментов модели, состоящие из агентов, взаимодействующих в некоторой среде» [21, с. 5]. Автор выделяет в определении пять ключевых терминов, без которых оно было бы неполноценным и некорректно отражало бы суть метода: 1) вычислительный (т.е. компьютерный); 2) эксперимент; 3) модель; 4) агент; 5) среда. В данном списке среда находится на последнем месте, но играет важнейшую роль в работе всех четырёх предыдущих компонентов.

6 Стоит подчеркнуть, что сформулированное ведущим экспертом в области искусственного интеллекта *Стэнном Франклином* определение автономного агента также заиклено на термине «среда»: автономный агент – это система, расположенная внутри среды и являющаяся её частью, способная воспринимать эту среду и воздействовать на неё с течением времени, преследуя свои собственные цели и таким образом влияя на своё будущее [20].

7 Интересен подход *Ли Тесфацион*, согласно которому агенты могут варьироваться от активных лиц, принимающих решения, до пассивных характеристик мира без когнитивных функций. Термин «агент» используется автором в широком смысле и понимается как сущность, являющаяся частью вычислительно сконструированного мира. Агентами могут быть как отдельные лица, социальные группы и институты (например, потребители, работники, семьи, фирмы, государственные учреждения, рынки, системы регулирования), так и биологические и физические объекты (например, скот, леса, инфраструктура). В таком случае внешняя среда также может рассматриваться как агент, что отражает глубочайший смысл парадигмы агент-ориентированного моделирования [24].

8 Таким образом, агент-ориентированные модели не просто состоят из агентов, взаимодействующих в среде, но и сама среда может быть представлена как агент или система агентов. Агенты – это отдельные части программы, которые используются для представления социальных субъектов (например, людей, организаций или органов власти) и запрограммированы реагировать на вычислительную среду, в которой они находятся. В одних моделях внешняя среда может быть нейтральной и практически не оказывать влияния на поведение агентов, в других – тщательно проработана и устроена настолько же сложно, как и сами агенты [21]. Зачастую, внешняя среда представляет собой географическое пространство, реализованное за счёт использования ГИС-технологий: у агентов есть координаты, указывающие их местоположение в виртуальном регионе, соответствующем реальному объекту на карте [19].

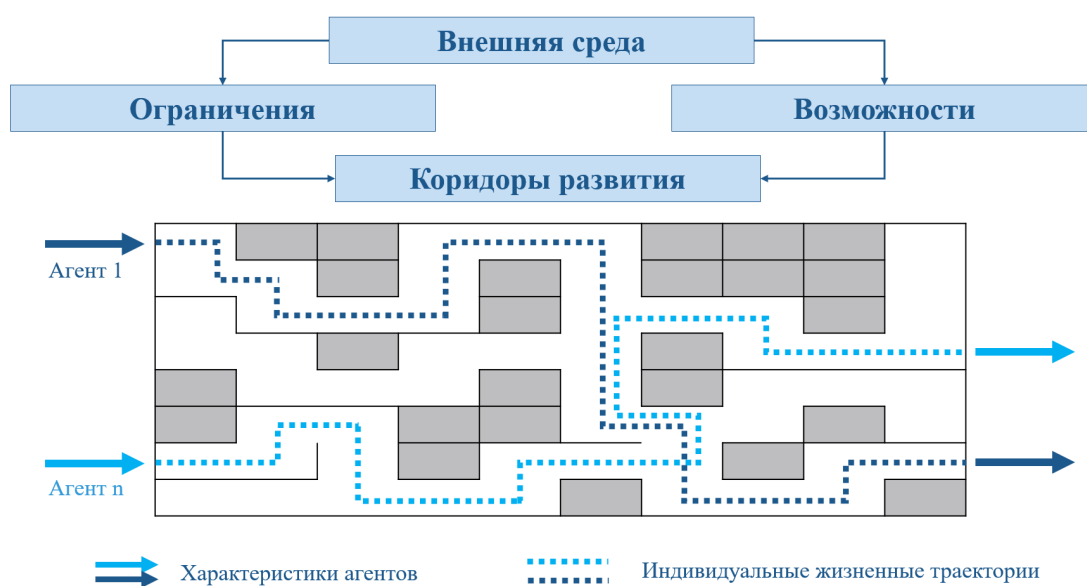
9 Расположение в пространстве, как подчёркивает А.Р. Бахтизин, является одним из основных свойств агентов в агент-ориентированных моделях. Пространство в данном случае понимается как некоторая «среда обитания» агентов, структура которой может варьироваться от простой до сложной [2, с. 26]. Это не обязательно физическое пространство. Средой обитания агентов в модели

может быть социальное пространство, экономическое пространство, пространство знаний и т.д.

<sup>10</sup> Таким образом, внешняя среда в агент-ориентированных моделях – это виртуальный мир, в котором расположены автономные компьютерные агенты, влияющий на их поведение и являющийся упрощённой моделью реальной среды обитания социальных субъектов, деятельность которых имитируется в модели.

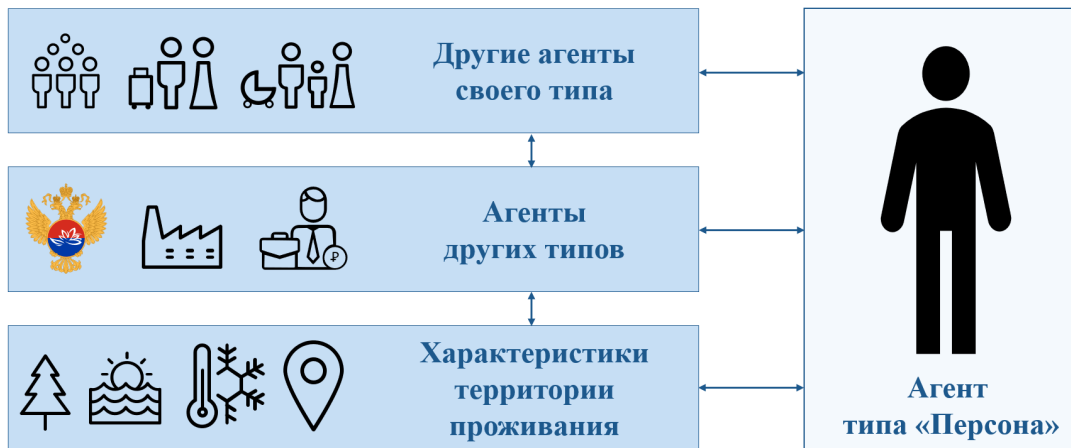
<sup>11</sup> Основными функциями внешней среды являются установка ограничений и создание возможностей, совместное воздействие которых формирует коридоры развития агентов. Образно говоря, ограничения – это стены, а возможности – открытые двери или проходы. Каждый из агентов принимает решение исходя из ограничений и возможностей внешней среды, тем самым формируя индивидуальную жизненную траекторию (рис. 1).

<sup>12</sup>



<sup>13</sup> *Рис. 1. Функции внешней среды в агент-ориентированных моделях*  
*Источник: составлено авторами.*

<sup>14</sup> В искусственных обществах внешней средой для агента типа «Персона» являются, в первую очередь, другие агенты своего типа (они влияют на брачно-семейную и трудовую траектории агента; например, нет работы, т.к. вакансия занята другим агентом-персоной – это «стена», или кто-то вышел на пенсию – и вакансия появилась – это «дверь»). Затем – агенты других типов, если они есть (например, в АОДМ ДФО, описанной далее, есть два дополнительных типа агентов: «Государство» и «Работодатель»). В последнюю очередь – характеристики территории проживания (например, месторасположение, климатические условия, наличие полезных ископаемых, инфраструктура и др.; рис. 2).



16 *Рис. 2. Структура внешней среды для агента-человека в искусственных обществах* Источник: составлено авторами.

17 Однако выбор конкретных параметров внешней среды, подлежащих компьютерной имитации, осуществляется каждым разработчиком самостоятельно в зависимости от целей исследования. Рассмотрим основные подходы к имитации среды жизнедеятельности агентов в демографических моделях, разработанных в России и за рубежом.

18

### **Обзор подходов к имитации внешней среды в демографических моделях**

Как показал обзор, проведённый ранее специалистами ЦЭМИ РАН, для адекватной имитации демографических процессов описание среды чаще всего осуществляется за счёт включения в модель параметров, характеризующих экономические, экологические и институциональные факторы, влияющие на показатели смертности населения, репродуктивное и миграционное поведение агентов. При этом агенты наделяются внутренними процедурами, которые позволяют им определять необходимость и возможность совершения таких действий, как рождение ребенка, смена места жительства или работы, исходя из собственных характеристик и свойств среды. Например, в разработанной исследователями социо-эколого-экономической агент-ориентированной модели основными типами агентов являются люди и организации, способные принимать сигналы из внешней среды и действовать в соответствии со своими интересами, а более крупные акторы (в частности, страны и регионы) служат для агентов внешней средой [11].

19 В более ранней модификации агент-ориентированной модели, разрабатываемой по методологии ЦЭМИ [12], в рамках внешней среды косвенно учитываются социальные, экономические и экологические факторы, влияющие на смертность населения через индексы, различающиеся по регионам (в рассмотрении экологической обстановки и состояния системы здравоохранения и прочих аспектов). На рождаемость влияют: тип воспроизводства, национальный состав, соотношение городского и сельского населения, уровень безработицы, уровень заработной платы и величина прожиточного минимума (а также индексы

изменения данных параметров). В еще одной модификации модели ЦЭМИ РАН [3] осуществляется оценка применимости агент-ориентированных моделей для решения практических управленческих задач. В частности, программ материнского (семейного) капитала, поэтому в качестве дополнительных параметров внешней среды, влияющей на рождаемость, были включены суммы материнского капитала и стоимость 1 кв. м жилья.

<sup>20</sup> В демографической агент-ориентированной модели Евросоюза [1] на рождаемость влияют внутренние установки агента, а также параметры внешней среды, такие как тип репродуктивного поведения (традиционный или современный; задается долей населения соответствующего типа по странам ЕС) и его производные показатели: суммарные коэффициенты рождаемости, желаемое число детей и прочее. Кроме того, тип репродуктивного поведения играет роль и при поиске партнера на брачном рынке стран ЕС. Смертность населения зависит от страны-места жительства агента (коэффициенты смертности являются внешними параметрами и дифференцированы по странам ЕС). На миграционные установки агентов влияют показатели, определяющие миграционную привлекательность внешней среды агента: открытость границ, прожиточный минимум, размеры социальных пособий, средняя заработная плата и т.д.

<sup>21</sup> В агент-ориентированной модели трудовой миграции из Китая в Россию важнейшей составляющей внешней среды, влияющей на принятие решений отдельным агентом, является его ближайшее окружение, состоящее из родственников, «которые предоставляют исходному агенту информацию об условиях своего труда (вид деятельности, статус, заработная плата) и служат для него ориентиром при оценке возможностей трудоустройства с учетом собственной квалификации» [13, с. 337]. При этом изменение условий внешней среды путём повышения информированности агентов (при неизменных параметрах рынка труда в обеих странах) привело к активной трудовой миграции сельских жителей Китая в Россию, заполнявших вакантные места низкоквалифицированных работников.

<sup>22</sup> Рассмотрим примеры агентных моделей других «научных школ» России. Мультиагентная имитационная модель муниципального образования [4, 9] включает менее детализированный подход к представлению демографического поведения агентов-жителей, однако расширяет внешнюю среду данных агентов, помещая их в максимально приближенные к реальности экономические условия: в модели представлен рынок товаров и услуг, рынок труда. Основной механикой развития экономики в работе является подход межотраслевого баланса, который предполагает взаимное развитие всех агентов и внешней среды: агенты-жители потребляют товары и услуги агентов-производителей, которые, в свою очередь корректируют свой плановый выпуск, создавая спрос на трудовые ресурсы.

<sup>23</sup> Агент-ориентированные модели и их спецификации, разработанные авторским коллективом из Республики Башкортостан (*Д. Гайнанов, Л. Мигранова, А. Атаева* и др.), также не раскрывают подробно процессы создания семьи, однако рассматривают миграционную составляющую демографического поведения, на которую влияют рынки труда и образовательных услуг внешней среды агентов [5, 6, 7].

24 В работе «Агент-ориентированная модель для прогнозной оценки динамики миграционных потоков в муниципальных районах Республики Башкортостан в зависимости от изменения качества жизни населения» [8] на миграционные установки агентов-людей помимо рынка труда влияет интегральный показатель «качества жизни населения» (сумма нормированных и взвешенных показателей по направлениям: уровень благосостояния населения, экономическое развитие региона, доступность образования, развитость системы здравоохранения, экологическая обстановка, состояние коммуникаций), который дифференцируется по районам распределения агентов, составляя тем самым для них внешнюю среду.

25 Следует признать, что российские агент-ориентированные модели демографических процессов немногочисленны и носят скорее единичный характер. Детализация моделей напрямую зависит от поставленной задачи исследования, что значительно сужает их возможности (аналитические, прогнозные и др.). Базовой научной организацией, занимающейся агент-ориентированным моделированием в России, остаётся ЦЭМИ РАН, который более 15 лет ведет работу по созданию собственной уникальной методологии программной реализации комплексных агент-ориентированных моделей социально-экономических систем, включающих блок имитации демографических процессов.

26 За рубежом агент-ориентированное моделирование демографических процессов распространено значительно шире, охватывает многие страны и научные организации, некоторые из которых занимаются развитием данной методологии уже более 20 лет. В частности, в 2003 году вышла книга «Agent-based computational demography: Using simulation to improve our understanding of demographic behaviour» («Агент-ориентированная вычислимая демография. Использование моделирования для улучшения нашего понимания демографического поведения», далее – ABCD), которая объединила описание разработанных на тот момент моделей и провозгласила тезис, что модели данного типа способны продвинуть на более высокий уровень методологию исследований демографических процессов [16]. К примеру, в данной книге упоминается агент-ориентированная модель миграции между областями Восточной и Западной Германии [25]. Популяция агентов представляет собой потенциальных мигрантов, взаимодействующих с внешней средой, которая условно представляется посредством рынка потребления (стоимостные функции потребления, дифференцированные по возрасту и местоположению), рынка труда (вероятности трудоустройства, размеры трудовых доходов и пособий по безработице) и пространственного размещения (помимо параметров локальных рынков труда и потребления представлены параметрами транспортных издержек на переезд: стоимость переезда и расстояния между областями). Каждый агент определяет необходимость изменения места жительства, решая задачу о максимизации функции полезности жизнедеятельности и взвешивая выгоды и издержки между домашним и потенциальным новым местом переезда.

27 В работе «The «Wedding-Ring»: An Agent-Based marriage Model Based on Social Interaction» («Обручальное кольцо: агент-ориентированная модель брака, основанная на социальном взаимодействии») [18] (авторы которой и собрали

вышеупомянутую книгу об ABCD) представлена абстрактная модель демографических процессов, таких как вступление в брак и последующее рождение детей. Своему названию модель обязана расположению агентов в пространстве по кругу: популяции обоих полов располагаются на двух окружностях. Однако исходя из теорий и гипотез социального взаимодействия авторы добавили ещё один важный для поиска партнера эндогенный параметр агента – возраст. Таким образом окружности в двумерном пространстве превратились в цилиндр, основания которого олицетворяют местоположение агентов, а боковая поверхность – шкалу возраста. Выборка социальной сети из агентов-потенциальных партнеров осуществляется по совпадению в пространстве и по возрастному интервалу, смещение которого от возраста соискателя задается 5 типами стратегий (вариации младше/старше/ровесники). Помимо данных двух критериев на «ширину» социальной сети потенциальных партнеров влияет внешний параметр, который авторы назвали «социальным давлением» – эффект от социальных взаимодействий, количественно выражаемый в числе агентов социальной сети, находящихся в браке. Социальное давление в модели задается параметрической функцией, но может быть управляемо пользователем, что позволяет проводить экспериментальные расчёты. Мэтчинг основан на совпадении двух не состоящих в браке агентов, которые вступают в брак, рожают детей (также становятся участниками социальной сети в соответствующем возрасте), могут развестись и продолжить участие на брачном рынке.

<sup>28</sup> Эрик Сильверман с коллегами превратили «обручальное кольцо» в «свадебный пончик» (дословно «Wedding Doughnut») (пространственное распределение сети агентов не по цилиндру, а по тороиду, который визуально действительно напоминает форму хлебобулочного изделия), разрабатывая модель влияния изменения структуры домохозяйств в Великобритании на социальное обеспечение [28]. Они приблизили абстрактную модель к реальному объекту, задав для популяции вероятности смертности и рождаемости, выверенные статистическими методами, и не стали ограничиваться только формальным браком. В качестве дополнительного параметра для агентов авторы включили состояние здоровья, которое задается эндогенной функцией, зависящей от пола и возраста агента. Включение нового параметра было необходимо для оценки потенциального спроса на услуги по уходу за нетрудоспособными, которые, однако, мы не можем отнести к параметрам внешней среды, так как данные услуги в модели не оказывают никакого обратного влияния на агентов (не изменяют их вероятности смерти и т.д.). Но в гонке за оценкой величины спроса на социальные услуги авторы пошли дальше и разработали другую модификацию агент-ориентированной модели – модель «связанных жизней» («Linked Lives») [29]. В этот раз авторы не стали размещать агентов на геометрической фигуре или съедобном предмете и разместили их в «виртуальных городах». В качестве параметров внешней среды в модель был включен рынок труда, который в дополнение к брачному рынку влиял на решение мигрировать в другой город (аналог причин миграции по семейным обстоятельствам и в связи с изменением места работы). Эти миграционные движения населения изменяли структуру спроса на социальные услуги по городам.



Агент-ориентированная модель рынка труда Франции WorkSim [22] хоть и нацелена на исследование закономерностей рынка труда, все же может быть рассмотрена и как демографическая, так как одним из типов агентов в ней являются физические лица (граждане), которые сгруппированы в домашние хозяйства, могут образовывать семьи (новые домашние хозяйства), иметь детей и разводиться, а значит, решения одного члена домашнего хозяйства могут повлиять на поведение остальных. Другим типом агентов в WorkSim являются частные фирмы, параметры которых определяют внешнюю для населения среду: базовая ставка заработной платы и условия труда в разрезе уровней занимаемых должностей, «штатное расписание», перечень вакансий, тип трудового контракта (срочный, бессрочный). В модели представлен так называемый «институциональный модуль», который также является окружающей (внешней) средой для обоих типов агентов, устанавливая такие параметры, как доля от валовой заработной платы, выплачиваемая в качестве вознаграждения при прекращении срочного контракта; законодательно установленный срок уведомления об увольнении; минимальный размер оплаты труда; размер пособия по безработице; продолжительность испытательного срока; продолжительность рабочего времени (часов в неделю); минимальный возраст выхода на пенсию; размер пенсии и др. Еще одним элементом окружающей среды в WorkSim является информация, которая исходя из предпосылок несовершенной информации и асимметрии информации, доводит ограниченные данные по статистике рынка труда до агентов для принятия ими решений. Распространение информации позволяет агентам-фирмам принимать решение о прекращении контракта с низкопроизводительным работником (при наличии данных о выходе на рынок труда более продуктивных соискателей), а агентам-гражданам, трудоустроенным в одной фирме, осуществлять параллельный поиск более выгодной вакансии в других фирмах.

<sup>30</sup> В работе «Assortative mating and the reversal of gender inequality in education in Europe: An agent-based model» («Ассортативное скрещивание и преодоление гендерного неравенства в сфере образования в Европе: агент-ориентированная модель») [23] смоделирован процесс поиска потенциального партнера на основании соответствия возрастных критериев, образовательных установок и перспектив по доходам агентов. Внешняя среда в модели представляется брачным рынком и институтом образования. Заработок агентов задается экзогенно, но является внутренним параметром агентов, который не меняется в процессе моделирования. Брачный рынок представлен такими параметрами, как возраст вступления в брак, возрастные критерии для поиска партнера, приоритеты по доходному статусу партнера, статус отношений («одинокий», «встречаюсь», «в браке») и вероятности перехода между ними, «возрастной» фактор поиска партнера (чем старше, тем интенсивнее намерения найти партнера). Институт образования в рассматриваемой модели – это не рынок образовательных услуг, а условия перехода по уровням образования (параметры: возраст для перехода на соответствующий уровень образования и максимальный уровень, который может быть достигнут агентом). На выходе модели авторы получают данные, по которым можно проанализировать брачный рынок, структурировав его по следующим категориям пар: гипергамные (вступление в брак или свидание с партнером, который выше по статусу), гомогамные (партнер равного статуса), гипогамные

(партнер ниже по статусу). Однако в данной работе не отражено влияние результатов мэтчинга на брачном рынке на рождаемость.

<sup>31</sup> Влияние на рождаемость было оценено в другой работе: «The mid-twentieth century baby boom and the role of social influence. An agent-based modelling approach» («Бэби-бум середины XX века и роль социального влияния. Агент-ориентированный подход») [27]. В модели представлены только агенты-женщины, на репродуктивное поведение которых влияет не наличие партнера (в данном случае предполагается, что он априори существует), а их социальное окружение (внешняя социальная среда), которое структурировано в пространстве по уровню образования и приверженности установке на семью с двумя детьми.

<sup>32</sup> Аспекты моделирования миграционных процессов в современных моделях собраны в книге «Towards Bayesian model-based demography: Agency, complexity and uncertainty in migration studies» («На пути к демографии, основанной на байесовской модели: влияние, сложность и неопределенность в исследованиях миграции») [17]. В фокусе исследователей встают не только вопросы личных мотивов миграции, но и внешние триггеры вынужденной миграции. Внешней средой в данных моделях выступают климатические изменения, военные конфликты, ограничительная миграционная политика различных государств [26].

<sup>33</sup> Как показывает проведённый нами анализ, в настоящее время и в России, и за рубежом накоплен большой опыт агент-ориентированного моделирования различных аспектов демографического развития стран и регионов, разработано множество агент-ориентированных моделей, имитирующих процессы рождаемости, смертности, поиска партнера, брачности и разводимости, миграции. Есть модели, концентрирующиеся на компьютерной имитации отдельных процессов. А есть и комплексные модели, рассматривающие демографическое развитие целиком. При этом среди подходов к моделированию внешней среды по отношению к каждому процессу можно выделить следующие:

- рождаемость – внешняя среда представляется социальным окружением, которое влияет на распространение того или иного типа воспроизводства населения, а также институтом государства, распространяющим меры поддержки рождаемости;
- смертность – внешняя среда отражается состоянием факторов, влияющих на здоровье населения (экономические, экологические и социальные факторы);
- поиск партнера (супруга) – внешняя среда для данного процесса представлена процедурами и параметрами, действующими на брачном рынке: система предпочтений, возраст вступления в брак и др. Параметры брачного рынка в рамках системы предпочтений в поиске партнера расширяют параметры внешней среды включением в неё характеристик образовательной системы и уровня жизни населения (отражение профессионального роста и доходов);
- миграция – внешняя среда представлена параметрами, отражающими миграционную привлекательность точки нахождения агента и соседних точек в пространстве среды. В систему показателей миграционной привлекательности входят показатели, характеризующие качество жизни населения, состояние рынка труда и товарных рынков (рынка потребления), а

также показатели сравнительной эффективности смены места жительства (оценка не только выгод, но и издержек, сопутствующих переезду). На миграционную привлекательность также оказывают влияние климат, миграционная политика и наличие военных конфликтов.

34

### **Внешняя среда в АОДМ ДФО**

В агент-ориентированной демографической модели Дальнего Востока (далее – АОДМ ДФО), разработанной ФАНУ «Востокгосплан» [14, 15], основным типом агентов является **агент «Персона»**. Кроме агентов типа «Персона», в имитационную модель встроены два вспомогательных типа агентов, формирующих среду функционирования агентов основного типа, это:

- **агенты «Работодатели»**, соответствующие видам экономической деятельности по ОКВЭД2;
- **агент «Государство»**, присутствующий в модели в неявном виде и управляющий изменением среды при помощи установки плановых сценариев развития территории на среднесрочную и долгосрочную перспективу.

35

**Агенты типа «Работодатель»** влияют в модели на изменение социально-экономической среды функционирования агентов типа «Персона» за счёт определения:

- списка (массива) вакантных рабочих мест. На старте доля вакансий относительно общего числа рабочих мест – 3,5%. Каждому рабочему месту присваиваются индивидуальные характеристики: должность, зарплата, требования к полу, возрасту, образованию, специальности (в перспективе), стажу работы. Неизвестные характеристики вакантных мест распределяются пропорционально характеристикам занятых мест;
- доли вакансий, сообщаемых работодателем в органы службы занятости населения (доля общедоступных вакансий – это условная переменная, её значения подбираются при калибровке модели в AnyLogic. Информация об остальных вакансиях отправляется ограниченному числу агентов случайным образом);
- индивидуальных для каждого вида экономической деятельности долей ежегодно создаваемых и ликвидируемых рабочих мест;
- индексации заработной платы в своём виде экономической деятельности (в случае запуска базового сценария коэффициент генерируется случайным образом в диапазоне от 5 до 10%, со средним значением 7% в год с использованием треугольного распределения от трёх параметров);
- коэффициентов к заработной плате по должностям, в результате чего заработная плата по рабочим местам становится зависимой от средней по экономике, вида экономической деятельности и должностного коэффициента.

36

**Агент «Государство»**, в свою очередь, формирует в модели следующие параметры внешней среды:

- производит индексацию пенсий: по инвалидности; по старости и выслуге лет; по случаю потери кормильца;

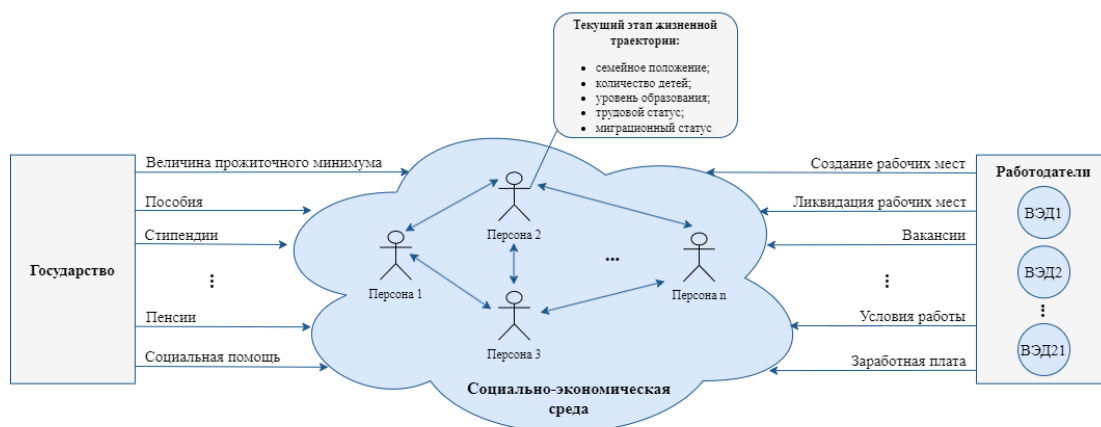
- устанавливает плановые темпы повышения пособий: по безработице; по уходу за первым ребенком до достижения им возраста полутора лет; по уходу за вторым и последующими детьми до достижения ими возраста полутора лет; единовременного пособия при рождении ребенка;
- выполняет индексацию размеров: государственного сертификата на материнский (семейный) капитал; регионального материнского капитала;
- осуществляет повышение стипендий: студентам образовательных учреждений ВПО; обучающимся образовательных учреждений СПО;
- задаёт плановые темпы роста: доходов от предпринимательской и другой производственной деятельности; оплаты труда наёмных работников; социальной помощи малоимущим и др.

37 При этом темп роста иных доходов полагается в модели равным темпу роста доходов от трудовой деятельности, поскольку основную их часть составляет скрытая заработная плата (сюда же относятся страховые возмещения, доходы от собственности и другие виды доходов).

38 Основным сценарием поведения агента типа «Государство» является сценарий сохранения текущих тенденций социально-экономического развития территорий на среднесрочную перспективу. Данный сценарий запускается в модели по умолчанию и не требует дополнительных настроек и регулировки параметров. Моделирование активной роли государства осуществляется за счёт обеспечения возможности формирования и запуска пользовательского сценария развития ситуации, который может быть установлен путём использования интерактивных элементов управления, встроенных в интерфейс, либо загружен из заранее подготовленного файла с плановыми темпами изменения параметров.

39 Схема концептуальных взаимосвязей между агентами разных типов, отражающая влияние внешней среды на агентов типа «Персона», представлена на рисунке 3.

40

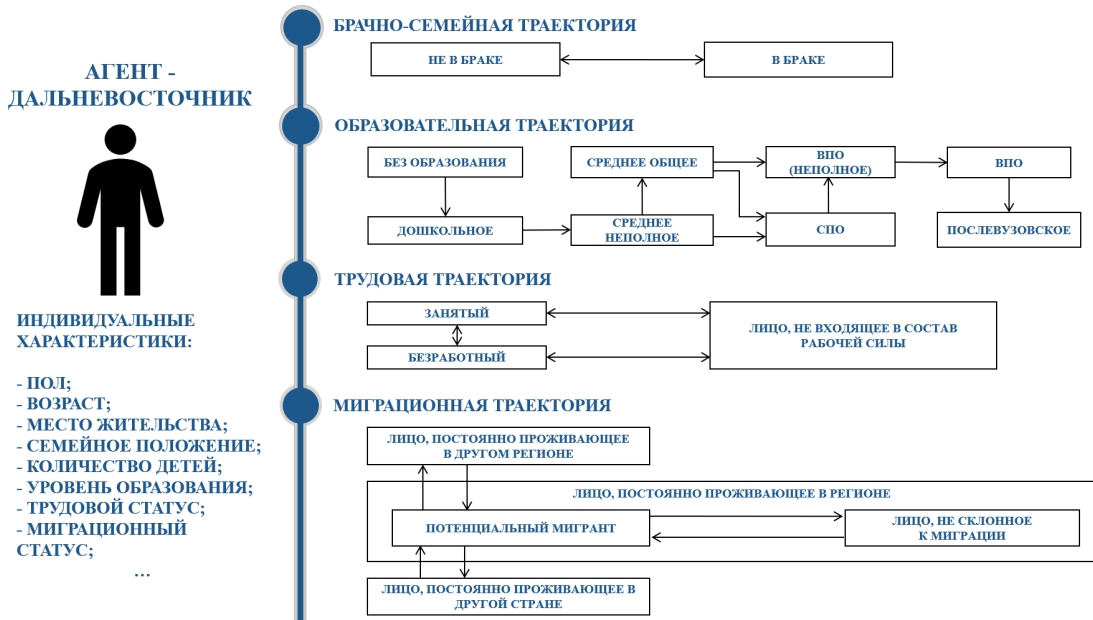


41 *Рис. 3. Схема концептуальных взаимосвязей между агентами разных типов в АОДМ ДФО Источник: составлено авторами.*

42 Переменными агента типа «Персона» в АОДМ ДФО, влияющими на его поведение в ответ на воздействия внешней среды, являются:

- тип поселения;
- муниципальное образование, регион;
- пол;
- возраст;
- уровень образования;
- семейный статус;
- дата (год) заключения брака;
- принадлежность к семье;
- принадлежность к домохозяйству, связь с родителями;
- миграционный статус;
- продолжительность проживания в регионе;
- социальное положение;
- трудовой статус;
- стаж работы (суммарный);
- зарплатные ожидания;
- для занятых: вид экономической деятельности, тип должности, стаж работы на последнем месте (год начала работы);
- для безработных: флаг «Активный поиск работы», флаг «Регистрация в службе занятости», дата (год) перехода в данный статус;
- для не входящих в состав рабочей силы: дата (год) перехода в данный статус;
- выход на пенсию: число лет, которые человек будет работать после назначения пенсии (определяет год выхода на пенсию), год выхода на пенсию фактический (год прекращения работы) = возможный год + число ожидаемых лет работы (определяется в год назначения пенсии);
- размер дохода (складывается из следующих типов: доход от предпринимательской и другой производственной деятельности; оплата труда наёмных работников (заработная плата); пособие по безработице; пенсия по инвалидности; пенсия по старости и выслуге лет; пенсия по случаю потери кормильца; стипендия ВПО; стипендия СПО; единовременное пособие при рождении ребенка; ежемесячное пособие по уходу за первым ребенком до достижения им возраста полутора лет (на конец года; рублей в месяц); ежемесячное пособие по уходу за вторым и последующими детьми до достижения ими возраста полутора лет (на конец года; рублей в месяц); государственный сертификат на материнский (семейный) капитал; региональный материнский капитал; социальная помощь малоимущим).

43 **Поведение агентов типа «Персона»** является нелинейным и предполагает множественный вероятностный выбор различных состояний, формирующих его индивидуальную, отличную от других агентов жизненную траекторию, состоящую из четырёх частных траекторий: брачно-семейной, образовательной, трудовой и миграционной (рис. 4).



45 *Рис. 4. Схемы состояний и переходов, характеризующих поведение агентов в рамках отдельных траекторий Источник: составлено авторами.*

46 **Брачно-семейная траектория** предполагает переходы между статусами «в браке» – «не в браке», «нет детей» – «1 ребёнок» – «2 ребёнка» и т. д. Формирование индивидуальной брачно-семейной траектории задаётся функциями естественно-демографического блока:

- Ф01. Поиск партнера/заключение брака;
- Ф02. Оформление развода;
- Ф03. Рождение детей.

47 **Образовательная траектория** определяется переходами между статусами «без образования» – «дошкольное образование» – «среднее неполное» – «среднее общее» – «среднее профессиональное» – «неполное высшее» – «высшее профессиональное» – «послевузовское». Индивидуальная образовательная траектория формируется функциями образовательного блока модели:

- Ф01. Поступление в ОУ;
- Ф02. Досрочное отчисление из ОУ;
- Ф03. Окончание ОУ.

48 **Миграционная траектория** задается переходами между статусами «потенциальный мигрант» – «лицо, не склонное к смене места жительства», «лицо, постоянно проживающее в регионе» – «лицо, постоянно проживающее в другом регионе/стране»). Индивидуальная миграционная траектория каждого агента типа «Персона» определяется функциями миграционного блока модели:

- Ф01. Формирование и изменение миграционных установок агентов;
- Ф02. Принятие агентами решения о миграции;
- Ф03. Смена места жительства;
- Ф04. Приживаемость в месте вселения.

49 **Трудовая траектория** задается переходами между статусами «лицо, не входящее в состав рабочей силы» – «занятый» – «безработный». Имитация трудовой траектории агента осуществляется функциями трудового блока:

- Ф01. Отказ от участия в рабочей силе;
- Ф02. Поиск работы/устройство на работу;
- Ф03. Увольнение с работы и выход на пенсию;
- Ф04. Постановка на учёт в службу занятости;
- Ф05. Корректировка зарплатных ожиданий.

50 Сценарии поведения агентов в рамках общей жизненной траектории формируются в результате одновременного движения по перечисленным четырём частным траекториям в изменяющихся условиях внешней среды и взаимодействия с другими агентами своего типа. Смена состояний (текущих статусов) осуществляется при выполнении условий перехода, запрограммированных в функциях отдельных блоков модели.

51 Параметры внешней среды ограничивают доступные для агента варианты поведения и тем самым оказывают влияние на индивидуальные жизненные траектории. Например, выбор партнёра зависит от наличия свободных агентов другого пола с заданными характеристиками на данной территории: супруг выбирается из числа неженатых мужчин с учётом разницы в возрасте, типа поселения и региона проживания. Длительность получения профессионального образования определяется установленным сроком обучения. Возможности трудоустройства сужаются или расширяются в зависимости от числа вакансий, а миграционные настроения зависят от социально-экономической обстановки в регионе. В частности:

- для занятых переход из статуса «лицо, не склонное к смене места жительства» в статус «потенциальный мигрант» происходит в модели при снижении реальной заработной платы (задаётся в трудовом блоке);
- для безработных – при продолжительной безработице (отсутствие работы более года: все агенты, которые прошлый год были в статусе «безработный» и в текущем году остались в этом же трудовом статусе получают миграционный статус «потенциальный мигрант»).

52 Внешняя среда в АОДМ ДФО имеет иерархичную структуру (таблица 1). На микроуровне средой, влияющей на поведение агентов, является семья и работа. На мезоуровне – муниципальное образование и тип поселения. На макроуровне в текущей версии модели реализованы следующие компоненты внешней среды, задающие социально-экономические факторы естественного и миграционного движения населения:

- система образования;
- рынок труда;
- система формирования доходов населения;
- система здравоохранения (реализована через причины смерти).

53 *Таблица 1. Иерархия внешней среды в АОДМ ДФО*

Уровень    Компонент внешней среды    Примеры воздействия

Микро	Семья Домохозяйство Работа (рабочее место, должность)	Наличие детей в семье и разница в возрасте между детьми влияют на принятие решения о рождении следующего ребёнка. Миграционные установки детей зависят от миграционных установок матери (отца – в случае отсутствия матери) следующим образом: у 74% потенциальных мигрантов дети также являются потенциальными мигрантами (для стабильного населения – у 40%). Заработная плата внутри одной «фирмы» (ВЭД) зависит от должности, то есть конкретного рабочего места
Мезо	Муниципальное образование Тип поселения	Решение о вступлении в брак принимается женщиной в зависимости от возраста, числа детей и территории. Супруг выбирается из числа неженатых мужчин с учётом разницы в возрасте, типа поселения и территории. Решение о разводе принимается с учётом пола, возраста, числа детей, типа поселения, территории. Наличие и общее количество рабочих мест в конкретном виде экономической деятельности зависит от муниципального образования (например, есть районы, в которых не ведётся добыча полезных ископаемых)
Макро	Регион (система здравоохранения, система образования, рынок труда, система формирования доходов)	Вероятность смерти от отдельной причины зависит от региона проживания. Размер регионального материнского капитала отличается по субъектам ДФО. Средний размер заработной платы, от которого рассчитываются зарплаты агентов по видам деятельности и должностям, имеет региональные различия

*Источник: составлено авторами.*

54 Изменяя управляемые параметры внешней среды, лица, принимающие решения, могут проводить настраиваемые вычислительные эксперименты и апробировать различные варианты управленческих воздействий с целью выбора и обоснования оптимального решения в сложившихся социально-экономических условиях с учётом структуры и поведенческих особенностей населения отдельной территории.

55

## **Заключение**

Таким образом, моделирование внешней среды играет важную роль в создании агент-ориентированных демографических моделей, предназначенных для апробации управленческих решений. Имитация среды жизнедеятельности членов искусственного общества:

- делает модель более приближённой к реальности и повышает её практическую значимость;
- предоставляет возможность опосредованного воздействия на поведение агентов путём управляемого, целенаправленного регулирования внешних условий;
- повышает вариативность проведения вычислительных экспериментов и придаёт им больше смысла, упрощает интерпретацию результатов.

56

Научная новизна и оригинальность проведённого исследования заключается в раскрытии понятия и сущности внешней среды, её основных функций и структурных особенностей в искусственных обществах, обобщении и систематизации подходов к имитации среды жизнедеятельности агентов в демографических агент-ориентированных моделях. Практическая значимость проведённой работы заключается в разработке и представлении авторского подхода к моделированию внешней среды в агент-ориентированной демографической модели Дальнего Востока, способной стать системой поддержки



принятия решений в области стратегического планирования демографическим развитием региона.

---

#### **Библиография:**

1. Агеева А. Ф., Бахтизин А. Р., Макаров В. Л., Сушко Е. Д. Искусственное общество и реальные демографические процессы // Экономика и математические методы. 2017, Т. 53, № 1. С. 3–18
2. Бахтизин А.Р. Агент-ориентированные модели экономики. Москва: Экономика, 2008. 279 с.
3. Бахтизин А.Р., Макаров В.Л., Максаков А.А., Сушко Е.Д. Демографическая агент-ориентированная модель России и оценка ее применимости для решения практических управленческих задач // Искусственные общества. 2021, Т. 16, № 2. DOI: 10.18254/S207751800015357-1
4. Бегунов Н.А. Моделирование развития муниципальных образований на основе агентного подхода // СИСП. 2011, №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-razvitiya-munitsipalnyh-obrazovaniy-na-osnove-agentnogo-podhoda>
5. Гайнанов Д.А., Мигранова Л.И. Агентные модели регионального рынка труда // Экономика и управление: научно-практический журнал. 2023, № 5. С. 149–155
6. Гайнанов Д.А., Мигранова Л.И. Агент-ориентированный подход к сбалансированному взаимодействию региональных рынков труда и образовательных услуг // Фундаментальные исследования. 2013, № 8-2. С. 394–398
7. Гайнанов Д.А., Мигранова Л.И., Сайфуллина Л.Д. Агент-ориентированное моделирование системы территориального развития // Управление экономикой: методы, модели, технологии: материалы XV международной научной конференции. 2015, Т. 2. С. 141–145. URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=31930>
8. Давлетова З.А., Низамутдинов М.М. Агент-ориентированная модель для прогнозной оценки динамики миграционных потоков в муниципальных районах Республики Башкортостан в зависимости от изменения качества жизни населения // Искусственные общества. 2024, Т. 19, Вып. 3. DOI: 10.18254/S207751800031742-5
9. Клебанов Б.И. и др. Технология моделирования социально-экономической динамики муниципального образования на основе мультиагентного подхода // ИММОД: сб. ст. 2009. С. 1–6.
10. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р. Социальное моделирование – новый компьютерный прорыв (агент-ориентированные модели). М.: ЗАО «Издательство «Экономика», 2013. 295 с.

11. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е. Д. Агент-ориентированные модели как инструмент апробации управленческих решений // Управленческое консультирование. 2016, № 12. С. 16–25.
12. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д. Моделирование демографических процессов с использованием агент-ориентированного подхода // Федерализм. 2014, №. 4. С. 37–46.
13. 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. DOI: 10.17059/2017-2-1.
14. Россошанская Е.А., Дорошенко Т.А., Ли Е.Л., Самсонова Н.А. Агент-ориентированный подход к прогнозированию современных демографических циклов // Искусственные общества. 2023, Т. 18. Спецвыпуск. DOI: 10.18254/S207751800028685-2
15. Россошанская Е.А., Дорошенко Т.А., Самсонова Н.А. и др. Агент-ориентированная демографическая модель Дальнего Востока как инструмент поддержки принятия управленческих решений // Государственное управление. Электронный вестник. 2022, № 94. С. 203–224. DOI: 10.24412/2070-1381-2022-94-203-224.
16. Agent-Based Computational Demography: using Simulation to Improve our Understanding of Demographic Behavior / editors F.C Billari, A. Prskawetz. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2003. 210 p.
17. Bijak J. Towards Bayesian model-based demography: Agency, complexity and uncertainty in migration studies. Springer Nature, 2022. 263 p.
18. Billari F.C., Prskawetz A., Diaz B.A., Fent T. The “Wedding-Ring”: An Agent-Based marriage Model Based on Social Interaction // Demographic Research. 2007, Vol. 17. P. 59–82.
19. Crooks A., Malleson N., Manley Ed, Heppenstall A. Agent-Based Modelling and Geographical Information Systems: A Practical Primer. SAGE Publications Ltd, 2019. 408 p.
20. Franklin S. Autonomous agents as embodied AI // Cybernetics and Systems. 1997, Vol. 28, Iss. 6. P. 499–520. DOI: 10.1080/019697297126029
21. Gilbert N. Agent-Based Models. Second Edition. SAGE Publications, Inc., 2019. 128 p. [https://us.sagepub.com/sites/default/files/upm-binaries/17239\\_Chapter\\_1.pdf](https://us.sagepub.com/sites/default/files/upm-binaries/17239_Chapter_1.pdf)
22. Goudet O., Kant J.-D., Ballot G. WorkSim: A Calibrated Agent-Based Model of the Labor Market Accounting for Workers' Stocks and Gross Flows, Computational Economics, published online (6 July 2016), pp. 1–48. DOI: 10.1007/s10614-016-9577-0

23. Grow A., Van Bavel J. Assortative mating and the reversal of gender inequality in education in Europe: An agent-based model // PloS one. 2015, V. 10, Iss. 6. P. e0127806.
24. Handbook of Computational Economics / Tesfatsion L., Judd K. (ed.). Elsevier, 2006. ed. 1, vol. 2, ch.16, pp. 831–880.
25. Heiland F. The Collapse of the Berlin Wall: Simulating State-Level East to West German Migration Patterns. In: Billari, F.C., Prskawetz, A. (eds) Agent-Based Computational Demography. Contributions to Economics. Physica, Heidelberg, 2003. DOI: 10.1007/978-3-7908-2715-6\_5
26. Hinsch, M., Bijak, J. Principles and State of the Art of Agent-Based Migration Modelling. In: Towards Bayesian Model-Based Demography. Methodos Series, vol 17. Springer, Cham, 2022. DOI: 10.1007/978-3-030-83039-7\_3
27. Nomes E. et al. The mid-twentieth century baby boom and the role of social influence. An agent-based modelling approach // Historical Life Course Studies. 2019, Vol. 8. P. 1–26.
28. Silverman E., Bijak J., Hilton J., Cao V.D., Noble J. When Demography Met Social Simulation: A Tale of Two Modelling Approaches // Journal of Artificial Societies and Social Simulation (JASSS). 2013, Vol. 16 (4). URL: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/16/4/9.html>
29. Silverman, E., Noble, J., Hilton, J., Bijak, J. Model-Based Demography in Practice: II. In: Methodological Investigations in Agent-Based Modelling. Methodos Series, vol 13. Springer, Cham, 2018. DOI: 10.1007/978-3-319-72408-9\_11

# The Role of the External Environment in Shaping Individual Life Trajectories of Agents in Artificial Societies

**Elena Rossoshanskaya**

*Federal Autonomous Scientific Institution «Eastern State Planning Center»  
Russian Federation, Moscow*

**Tatiana Doroshenko**

*Federal Autonomous Scientific Institution «Eastern State Planning Center»  
Russian Federation, Moscow*

**Natalia Samsonova**

*Federal Autonomous Scientific Institution «Eastern State Planning Center»  
Russian Federation, Moscow*

## Abstract

The article is devoted to the study of the role of the external environment in the formation of individual life trajectories of agents in artificial societies. Research method: content analysis of scientific publications on the problems of agent-based modeling of the external environment and generalization of authors' own experience in computer imitation of demographic processes. The paper reveals the essence of the external environment and its main functions, discusses approaches to simulating the environment of agents' activities in demographic models and its structural features, and describes the authors' personal experience in modeling the components of the external environment that influence the behavior of human agents in an agent-based demographic model of the Far East.

**Keywords:** agent-based modeling, artificial society, demographic model, external environment, strategic management, Far East

**Date of publication:** 12.11.2024

## Citation link:

Doroshenko T., Rossoshanskaya E., Samsonova N. The Role of the External Environment in Shaping Individual Life Trajectories of Agents in Artificial Societies // Artificial societies. – 2024. – V. 19. – Special Issue.  
URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800032894-2-1/>. DOI: 10.18254/S207751800032894-2