



## Artificial societies. 2013-2020

ISSN 2077-5180

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

All right reserved

Issue 4 Volume 14. 2019

# Agent-based modeling of socio-ecological-economic systems in the aspect of sustainable development strategies testing

**A. Ageeva**

*Cemi RAS*

*Russian Federation, Moscow*

## Abstract

A review of agent-based and multi-agent socio-ecological-economic models developed by foreign researchers for the purpose of testing variable strategies for sustainable development is presented. On the example of foreign experience, the efficiency of using the agent method of simulation for the economic and administrative mechanisms for implementing the concept of sustainable regional development and forecasting the social, economic and environmental consequences of environmental policy has been proved. The architecture of decision support systems built with the use of agent technologies are discussed, which are an effective modern tool for developing and testing strategies for sustainable development of areas, including urban and rural, situated in the special climatic zones, environmentally vulnerable, having intensive anthropogenic impact and scarcity of natural resources, as well as environmental policy strategies that support the transition to green technologies. The advantages of the agent approach for applying an integrated and interdisciplinary approach in the aspect of simulation complex relationships and interactions of components of socio-ecological-economic systems are shown.

**Keywords list (en):** agent-based modeling, multi-agent models, sustainable regional development, environmental policy

**Date of publication:** 19.12.2019

## Acknowledgment:

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ 17-02-00416-ОГН “Методология построения региональных агент-ориентированных социо-эколого-экономических моделей”

## Citation link:

Ageeva A. Agent-based modeling of socio-ecological-economic systems in the aspect of sustainable development strategies testing // Artificial societies. 2019. V. 14. Issue 4 [Electronic resource]. Access for registered users. URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800007439-1-1/> (circulation date: 28.09.2020). DOI: 10.18254/S207751800007439-1

1 Концепция «устойчивого развития», начав свое развитие в 1970-х гг., не потеряла актуальности и сегодня: задачи устойчивого развития современного общества связаны с соблюдением триединого подхода к поддержанию баланса между экономическими, социальными и природными условиями жизнедеятельности человека и осуществлению перехода к экологической экономике - экономике устойчивого развития. С 1980-х гг. на первый план стали выдвигаться вопросы охраны окружающей среды и поддержания экосистем, а также впервые начали появляться исследования, проекты и программы по экологической безопасности как составляющей стратегических планов развития на национальном и глобальном уровнях, разрабатываемые при участии международных организаций по охране природы. Формирование политики устойчивого развития должно отвечать задачам эффективного управления сложными социально-природными процессами, связанным с реализацией мероприятий по уменьшению экологических последствий, вызванных интенсивным социально-экономическим развитием общества - истощением природных ресурсов, изменением климатических условий, ухудшением качества окружающей среды и т.д.

2 Перспективным инструментом в аспекте выполнения выше обозначенных задач является имитационное моделирование. Использование агентных технологий имитационного моделирования целесообразно для комплексного исследования и реалистичного воспроизведения сложных взаимосвязей и взаимодействий экономических, экологических и социальных факторов, а также прогнозирования последствий влияния моделируемых сценариев, событий и мероприятий на компоненты устойчивого развития. Парадигма агентного моделирования позволяет имитировать устройство и процессы, происходящие в «устойчивом обществе», наделяя различными алгоритмами поведения множества его элементов — агентов модели. В статье [1] нами приведен обзор агент-ориентированных моделей и мультиагентных систем, в которых имитируются процессы антропогенного характера в границах исследуемых территорий систем «природа - общество»: загрязнение окружающей среды вредными веществами, влияние экологических условий на состояние здоровья населения и социально-экономические последствия экологических проблем; также представлен анализ конструктивных особенностей архитектуры рассмотренных моделей. Данная статья является частью работы по изучению зарубежного опыта по агент-ориентированному моделированию социо-эколого-экономических систем: в рамках продолжения работы изучим примеры имитационных моделей и систем поддержки принятия решений, построенных на базе агент-ориентированных и мультиагентных моделей, разработанных с целью тестирования стратегий устойчивого регионального развития и реализации механизмов поддержки перехода к «зеленым» технологиям на государственном уровне.

3 Интенсивная антропогенная нагрузка приводит к истощению запасов природных ресурсов, поэтому для регионов и стран, испытывающих их дефицит, целесообразно разрабатывать стратегии устойчивого развития, в которых учтены соответствующие инструменты их управления и распределения: проведем анализ архитектуры трех моделей. Коллектив авторов в работе [4] представил описание платформы для агент-ориентированного моделирования экологических, экономических и социальных последствий принятия законодательных нормативных актов в сфере водопользования и управления водными ресурсами для региона, примыкающего к бассейнам рек Адур и Гаронна (Франция).

Платформу можно использовать как систему поддержки принятия решений при разработке планов устойчивого развития регионов, испытывающих дефицит водных ресурсов. Агент-ориентированная модель состоит из двух частей: природно-экологической (динамика показателей осадков, температуры, потока воды, роста растений) и социально-экономической (принятие решений фермерами, управление водными ресурсами в условиях маловодья, динамика землепользования и населения).

4 В агент-ориентированной модели взаимодействуют три типа объектов: 1) агенты-индивидуумы и агенты-организации; 2) физические объекты, распределенные в пространстве региона (водоем, участок земли, плотина); 3) информация, которой владеют люди и которая учитывается в процессе принятия решений, формировании целей и планировании действий. Структура модели определяется как совокупность объектов и их отношений, а ее состояния - как связи объектов. Агенты принимают решения, так, агенты-фермеры ежегодно формируют план посевных работ; агенты-госслужащие ежедневно мониторят и контролируют информацию о водных ресурсах и разрабатывают систему регулирования водопользования, управляя процессом водосброса с плотин; законодательные (информационные) агенты - это принимаемые госслужащими постановления о текущем "уровне засухи" (I, II или III категории).

5 В модели имитируются следующие виды взаимодействий: - человеческая деятельность, лежащая в основе нехватки водных ресурсов и приводящая к определенным последствиям; - социально-экономические процессы, порождающие явления, возникающие в результате деятельности населения региона (например, динамика цен и урбанизация); - экологические процессы, связанные с принятием законодательных нормативных актов, касающихся природных ресурсов. В модели можно также запускать процессы, связанные с влиянием внешних факторов верхних уровней, например, котировки биржевых цен на кукурузу. Генерация модели требует предварительной обработки большого количества наборов данных, так, разработчики использовали более 250 файлов из различных источников.

6 Оценка динамики водопользования осуществлялась на базе полуэмпирической гидрологической модели, в которой имитировались ежедневные агрогидрологические циклы и рассчитывался пространственно распределенный гидрологический баланс по территориальным гидрологическим единицам, имеющим индивидуальные комбинации показателей растительного покрова, типа почвы и уклона. Использование воды для бытовых и промышленных нужд имитировалось с помощью эконометрических уравнений. Влияние нехватки воды на урожайность представлено через функцию годового объема продукции.

7 Для оценки преимуществ и недостатков вариативных стратегий управления территориями региона, с помощью разработанной платформы тестировались четыре сценария, с учетом различных погодных условий и прогнозных данных об изменении климата:

- 8 • управление по скорости потока воды, в соответствии с запросами фермеров и данных о засушливых периодах;
- управление через систему квотирования, когда фермеры могут использовать заранее установленный объем воды;
- управление через систему годового квотирования, в соответствии с данными о водных запасах;
- управление через систему еженедельного и ежемесячного квотирования в соответствии с текущими показателями водных ресурсов и прогнозом погоды.

9 Оценка вариантов может осуществляться с получением экологических, экономических и социальных результативных показателей.

10 Авторы, разработавшие агент-ориентированную модель, представленную в [11], ставили целью создание эффективного инструмента по управлению земельными ресурсами в экологически уязвимых регионах, с помощью которого возможно прогнозировать динамику экосистем как результата реализации различных сценариев устойчивого развития. Модель управления экосистемами пастбищ в регионе Внутренней Монголии, территории которого в течение последних тридцати лет испытывали интенсивную антропогенную нагрузку с непрекращающимся перевыпасом для удовлетворения нужд растущего населения КНР, состоит из трех блоков или подмоделей, в которых имитируются:

- 11 • поведение индивидуумов (агентов-пастухов);
- процессы принятия решений агентами-домохозяйствами;
- антропогенное влияние на экосистемы пастбищ и лугов.

12 Модель прогонялась в соответствии с четырьмя сценариями: 1) базовый; 2) повышение уровня жизни домохозяйств; 3) защита экосистем; 4) сбалансированное регулирование потребления природных ресурсов, что может привести к стабилизации антропогенной нагрузки и устойчивому развитию региона.

13 В модели экосистемы и общество взаимодействуют посредством индикатора первичной продуктивности; в модели также используются показатели воздействия хозяйственной деятельности человека на окружающую среду для получения данных от прожиточного минимума домохозяйств до региональной антропогенной нагрузки, которые важны для тестирования стратегий устойчивого развития. Согласно выходным данным, реализация стратегий со строгим контролем выпаса скота приведет к уменьшению его поголовья и домохозяйства не смогут достичь уровня прожиточного минимума. Диверсификация источников доходов домохозяйств может помочь в достижении прожиточного минимума.

14 Похожая на две предыдущих, но теоретико-концептуальная модель была разработана для понимания проблем управления водными ресурсами в границах засушливых пастбищ провинции Йезд (Иран) [5]. Авторы работы, следуя парадигме агентного моделирования и используя метод экспертного оценивания “Дельфи”, выявили основные поведенческие критерии агентов, схемы их взаимодействий друг с другом и с окружающей средой (всего пятнадцать типов поведения), влияющие на принятие решений агентами модели - госслужащими, животноводами, организациями по охране природы и общественной организацией.

15 Одной из главных целей, которые необходимо решать в аспекте реализации политики устойчивого развития, является необходимость преодоления неопределенности, стоящей перед принятием соответствующих административных и экономических решений, а также учетом трансформационных движений. Так, например, переход к устойчивому развитию общества связан с социально-техническими переменами, в результате, технологические преобразования могут оказать влияние на экономику через производительность и структурные изменения, которые произойдут с развитием новых производств и отраслей и ликвидацией других. Выполнение этих задач затрудняется сложностью прогнозирования последствий воплощения в жизнь механизмов реализации климатической политики, что является сдерживающим фактором инвестирования в новые, экологически чистые технологии и лежит в основе нерешительности политиков и международного сообщества. Поэтому, вопросы, связанные с доказательной базой о возможностях достижения экономического роста с помощью альтернативных, низкоуглеродных и экологически чистых технологий, а также определением степени, в которой такое распространение может поддержать социально-экономическое развитие общества, остаются все еще актуальными.

16 Агент-ориентированному моделированию влияния климатических условий на экономику, вызывающего необходимость перехода к “зеленым” технологиям, а также тестированию соответствующих стратегий экологической политики, было посвящено исследование коллектива авторов, работавших над проектом в рамках гранта ЕС. В первой части работы [6] они представили агент-ориентированную модель комплексной оценки экономико-климатической динамики, являющейся попыткой имитирования экономических, экологических и технологических связей, существующих внутри углеродного цикла (производство > выбросы > климатические изменения > экономическая динамика > производство). В модели агентами являются:

- 17 • предприятия, производящие товары широкого потребления и инвестирующие в средства производства;
- инвестиционные учреждения, инвестирующие в НИОКР по созданию технико-технологических новшеств, которые способствуют увеличению производительности предприятий и эффективности использования энергии, а также, экологичности промышленного оборудования;
- предприятия энергетического сектора.

18 Экономическая деятельность агентов-предприятий связана с использованием экологически чистых источников энергии, либо же, альтернативных, загрязняющих окружающую среду. Последние сопряжены в модели с объемами выбросов парниковых газов, из-за чего увеличивается температура Земли, что приводит к глобальным климатическим изменениям. Кроме того, повышение температуры влияет на эффективность энергоиспользования, производительность труда, запасы капитала, все вместе влияющие на макроэкономические показатели. Экономический ущерб, вызванный климатическими изменениями, оценивался с помощью стохастических функций, в которых вероятность и величина ущерба зависят от динамики температуры Земли, которая, в свою очередь, зависит от экономических показателей - объемов производства.

19 Модель была откалибрована и инициализирована в соответствии с показателями мировой экономики за 2000г., прогонялась по 400 периодам, с получением прогнозных показателей до 2100г. В модели имитировались сценарии как небольших климатических изменений, так и экстремальных климатических шоков, вызывающие необходимость создания новых технологий, как в энерго-, так и в производственном секторах, уменьшающих объемы выбросов парниковых газов. Сценарии имитировались без включения режима проведения экологической политики. Прогнозы модели показали, что переход к “зеленой” экономике невозможен без реализации экологической политики, которая может предотвратить опасные значения повышения температуры Земли.

20 Во второй части работы [7] авторы, используя разработанную модель, провели серию экспериментов по тестированию экономических механизмов реализации экологической политики, связанной с увеличением налогов на углеводороды и предоставлением “зеленых” субсидий, оценивая таким образом роль экологической политики в инициировании перехода к возобновляемым источникам энергии. Введение налогов на углеводороды и выбросы углекислого газа изменит стоимость топлива, а значит, способствует снижению его относительной конкурентоспособности по сравнению с “зелеными” технологиями. Результаты моделирования показали, что вмешательства с помощью данных механизмов экологической политики должны быть существенными, в противном случае, они не окажут заметного воздействия; проведение политики оказывается более эффективным в периоды сильных климатических изменений.

21 Проведение новой экологической политики связано с научным поиском механизмов и

средств реализации сбалансированного взаимодействия компонентов устойчивого развития. Важным этапом работы, связанной с достижением данных целей, является выявление измеряемых индикаторов и показателей устойчивого развития и способов их практической интеграции. Коллектив авторов разработал систему поддержки принятия решений управления устойчивым развитием города Кулдига (обл. Курземе, Латвия) на базе модели, которая была построена с помощью комбинирования методов системной динамики и агентного моделирования [8]. В модели были использованы сорок два показателя устойчивого развития, которые сгруппированы по трем блокам - подсистемам модели, и объединены по принципам сплоченности общества (национального единства), экономической интеграции и экологической сбалансированности:

- 22 1. Социальная система (демографические движения, миграция населения, половозрастные когорты, уровень жизни и социального обеспечения, состав доходов населения, уровень образования, медицинское обслуживание, развитие человеческого капитала, учреждения культуры - досуг, отдых, и т.п.).
2. Система жизнеобеспечения (состояние инфраструктурных объектов - энергетика, водоснабжение, переработка отходов жизнедеятельности человека; обеспечение населения продуктами питания, товарами и услугами).
3. Экономическая система (экономический рост, объемы промышленного и сельскохозяйственного производства, состояние производственной инфраструктуры, стоимость затрат средств производства, промышленные технологии, объемы потребления, занятость, бюджетные средства, налоги, и т.п.).
4. Природная система (экологическая обстановка, состояние экосистем, запасы природных ресурсов, истощение невозобновляемых ресурсов, регенерация возобновляемых ресурсов, эрозия почвы, общая площадь земель, типы земель, динамика землепользования и т.п.).

23 Целью данной работы являлось создание масштабируемой, пространственной и динамичной модели, в которой возможно отображать взаимодействие компонентов устойчивого развития территорий города на пяти уровнях: - глобальном (мировом и в границах Европейского Союза); - страновом (национальном); - региональном (областном); - муниципальном; - локальном. Воспроизводимые в модели сценарии глобального, регионального и странового уровня имитировали воздействие внешних факторов, таких как, например, демографические сдвиги, изменение климата и экономических условий, неблагоприятный экологический фон, законодательные нововведения, реформы в сферах образования и здравоохранения и т.д., которые влияют на развитие территорий области Курземе и города Кулдига.

24 Агентами модели являются: граждане, проживающие в границах территории города, объединенные в семьи и домохозяйства, наделенные характеристиками пола, возраста, образования, дохода и т.д.; промышленные предприятия, распределенные в пространстве области, наделенные производственными характеристиками. Территории области представлены пространственными ячейками, привязанными к ГИС-координатам и наделенные показателями урожайности, объемов лесозаготовки и т.д. В мультиагентной модели посредством взаимодействия агентов друг с другом воспроизводятся процессы динамики общества и антропогенной нагрузки. Взаимодействие экономики и природной среды имитировали с помощью модели системной динамики. За временной отрезок модели был принят период с 2010 по 2040 гг.; модель прогонялась с шагом в один календарный год. Авторы продемонстрировали возможности разработанной модели, получив результаты моделирования за 2009 г., основной сценарий которого был связан с сокращением численности населения в связи с высоким уровнем эмиграции и депопуляцией населения, при этом, были

выявлены первые признаки выхода из экономического кризиса, однако долговременный прогноз показал, что к 2030 г. начнется снижение численности населения. Модель прогонялась по двум демографическим сценариям: увеличение коэффициента рождаемости в 1.6 раза и в 2.0 раза.

25 На примере следующих двух моделей, построенных с помощью агентного подхода, рассмотрим особенности моделирования стратегий устойчивого развития сельских и городских территорий. С помощью агент-ориентированной модели, описанной в [10], тестировались сценарии регионального развития сельской области Ахтерхук, расположенной в восточной части Нидерландов, являющейся также активным туристическим направлением. Жители области и представители местной администрации выказывали обеспокоенность тем, что сельскохозяйственная реформа ЕС, которая предполагает уменьшение прямых платежей сельхозпроизводителям, приведет к ликвидации крупных ферм в неблагоприятных районах, и в то же время, интенсификации сельскохозяйственной деятельности в более продуктивных. Кроме того, в регионе увеличивается число сельских жителей, не занятых в сельскохозяйственном производстве. Таким образом, представители администрации региона и проектировщики изучали возможные варианты развития региона.

26 В модели тестировались два основных сценария развития, отражающие противоположные варианты: 1) сбалансированная, адресная и устойчивая поддержка фермеров; 2) прекращение поддержки по продвижению продукции на рынке и выплат фермерам. Первый сценарий устойчивого регионального развития направлен на обеспечение баланса экономического, экологического и социального компонентов системы и предполагает реформы схем прямых платежей: - установление базовой субсидии для всех фермеров, которая поможет мелким производителям, но вместе с тем, снизит доходы крупных хозяйств и производителей молочной продукции; - субсидии для сохранения культурно-исторического ландшафта; - увеличение субсидий для сельских жителей, желающих диверсифицировать свою деятельность, оказание финансовой и технической поддержки для продвижения новых технологий. Второй сценарий сосредоточен на реализации ограниченного количества целей, что может привести к значительному снижению объемов производства, доходов фермерских хозяйств, числа фермеров, а также увеличению количества заброшенных земель и интенсификации сохраняемого производства. Для повышения производительности многие фермеры предпочтут ликвидировать зеленый культурно-исторический ландшафт для увеличения посевных площадей.

27 Агентами модели являются фермеры, наделенные характеристиками возраста и типом управления фермерским хозяйством, принимающие решения относительно расширения производства, выбора стратегии управления земельными участками или прекращения сельхоздеятельности, принимая во внимание характеристики земель и условия принятой стратегии регионального развития. Были учтены разные методы управления земельными ресурсами сельскими жителями, фермерами, фермерами-пенсионерами, городскими мигрантами. Модель прогонялась с учетом данных, полученных от экспертов и в ходе опроса жителей. Всем заинтересованным сторонам были представлены результаты моделирования: прогнозные показатели - демографическая динамика и структура, экономические перспективы и экологические условия, динамика землепользования. Выходные данные по двум сценариям показали существенную разницу в динамике ландшафта (землепользования), но небольшое различие между социально-экономическими показателями, кроме того, выявлена важность сохранения многофункциональности территорий региона.

28 Коллектив авторов из КНР разработал мультиагентную модель устойчивого развития городских территорий [9], в которой воспроизводятся взаимодействия агентов трех типов: домохозяйств, предприятий и городской администрации. Основа взаимоотношений агентов

строится через связи производства и потребления ресурсов - водных, энергетических и продовольственных. Принятие муниципальными властями административных решений по регулированию потребления ресурсов, с привлечением к этому процессу общественности, отражает влияние и вклад различных категорий граждан в реализацию планов по устойчивому развитию городских территорий и способствует уменьшению конфликтных ситуаций, вызванных ростом объемов потребления ресурсов, между представителями различных групп интересов.

29 Дифференцированные поведенческие схемы, связанные с потреблением ресурсов агентами-домохозяйствами, зависят от таких факторов, как совокупный доход, размер, привычки потребления, сбережения. Агенты-предприятия одновременно производят ресурсы и потребляют часть из них; они зависят от потребителей, себестоимости и рыночных цен. Потребление ресурсов зависит от потребностей домохозяйств и промышленной структуры города, а также от эффективности использования ресурсов. Администрация города разрабатывает экономическую политику и принимает решения об административном вмешательстве, повышая цены на ресурсы, осведомляет население об экологической ситуации, преследуя цели координирования снабжения ограниченными ресурсами и реализации планов по устойчивому развитию городских территорий.

30 Модель состоит из трех частей:

- 31 • социальная среда, представленная такими факторами, как рыночные механизмы и концепции потребления ресурсов;
- интеллектуальная система, отражающая отношения между различными агентами, каждый из которых имеет свое поведение потребления ресурсов;
- распределение потребления ресурсов, имеющее характеристики городского пространства с расположенными в нем зданиями, учреждениями и предприятиями - потребителями ресурсов.

32 Авторы смоделировали будущие городские условия с увеличением количества домохозяйств и предприятий и показали, что если администрация города не примет соответствующих мер, то в ближайшее время спрос на ресурсы увеличится настолько, что приведет к их дефициту и станет препятствием для реализации концепции устойчивого развития города.

33 Комплексный и междисциплинарный подход требуется для определения приоритетных целей устойчивого развития территорий с особыми климатическими условиями: необходимо учитывать проблемы, возникающие в связи с освоением и поддержанием пригодных для жизни условий в неблагоприятном климате, а также обеспечением условий для сбалансированного развития местных коренных сообществ, имеющих свои социально-культурные особенности. В работе [2] представлена агент-ориентированная модель, в которой имитировались экономическая, экологическая и социальная динамики области Олд-Кроу, расположенной в регионе Западной Арктики в Канаде и не имеющей выхода к транспортным магистралям. Члены сообщества коренных народов Олд-Кроу были обеспокоены тем, что разработка нефти вблизи границ области и климатические изменения могут оказать негативное воздействие на северные экосистемы, от которых зависит их жизнь. Агентное моделирование делает возможным проведение комплексной оценки устойчивости развития сообщества Олд-Кроу, имитируя взаимодействие жителей друг с другом и процессы их адаптации к меняющимся условиям.

34 В модели агенты - члены сообщества коренных народов Арктики, объединенные в домохозяйства, помещены в условия ландшафта, представленного охотничьими и



сельскохозяйственными угодьями. Люди проживают в пяти различных типах домохозяйств, представляющих комбинации показателей возраста, количества иждивенцев, с различными возможностями наемного труда и охоты. Агенты могут перемещаться из сообщества и возвращаться в него для улучшения материального благополучия и реагировать на нехватку урожая с помощью коллективно организованной охоты.

35 Авторы моделировали несколько сценариев, связанных с возможными вариантами развития туризма в регионе - от “мягкого” до “жесткого”, климатическими и экологическими изменениями, сокращением бюджетных расходов на тридцать процентов. Модель генерирует прогнозные показатели по уровню урожайности, занятости, заработной платы, доходам домохозяйств, демографическим движениям, инвестиционных затрат на развитие туристической отрасли, численности популяций животных. Результаты моделирования выявили индикаторы устойчивого развития, которые обсуждались со специалистами и членами сообщества. Выходные данные показали уменьшение численности населения сообщества на десять процентов через сорок лет. Развитие туризма в регионе может увеличить население на одну треть, при условии строительства транспортной магистрали. Сокращение бюджетных расходов приведет к значительной потере доходов с последующим сокращением численности населения. Полученные данные позволяют сделать некоторые выводы об адаптации сообщества к переменам: децентрализованные механизмы распределения рисков, включая охоту и сельское хозяйство, а также сезонную миграцию, повышают устойчивость развития сообщества. Региональная политика устойчивого развития Олд-Кроу должна разрабатываться с учетом полученных с помощью модели результатов.

36 В [3] представлена концепция конструкции похожей на предыдущую агентную модель, созданной для прогнозирования социально-экономических последствий изменения климата в бореальных зонах и арктических регионах. В модели происходит взаимодействие трех типов объектов: агентов-домохозяйств, наделенных индивидуальными характеристиками возраста, дохода, местоположения, а также уровнем удовлетворенности, который зависит от погодно-климатических условий; - объектов искусственной среды (инженерных коммуникаций, социальных институтов); - объектов природы (биофизического ландшафта, состоящего из ячеек с топографией, гидрологией, погодой, осадков). Взаимодействия объектов предполагают имитирование антропогенного воздействия, влияния климата на погодные условия, а также возможность стихийных явлений, от которых могут пострадать люди. Агенты - члены домохозяйств принимают текущую ситуацию, реагируют, протестуя или мигрируя. Государственные программы и стратегии направлены на смягчение социальных, инфраструктурных и экологических последствий изменения климата. Состояние общества в модели может оцениваться от уровня успешной адаптации к изменениям климата до катастрофического положения.

37 Агентный подход позволяет имитировать сложные взаимосвязи в социо-эколого-экономических системах: поведение агентов, их стиль жизни, сложный процесс принятия решений, с учетом экономических, экологических и административных факторов, а также взаимодействия агентов друг с другом и с окружающей средой в виртуальной среде, воспроизводящей эколого-климатические изменения. Агентная парадигма позволяет имитировать решения, принимаемые гражданами и предприятиями в процессе осуществления экономической деятельности, а также представителей органов власти в процессе разработки нормативных актов экологического регулирования и программ устойчивого развития территорий, в том числе, городских и сельских, с особыми климатическими условиями, экологически уязвимых, испытывающих интенсивную антропогенную нагрузку и дефицит природных ресурсов, а также стратегий экологической политики, способствующей процессу перехода к “зеленым”, экологически чистым технологиям. Анализ зарубежной научной литературы по заявленной в статье тематике показывает, что агентное моделирование

становится активно применяемым в течение последних полутора десятилетий методом, использование которого помогает успешно решать междисциплинарные задачи, связанные с тестированием стратегий устойчивого регионального развития, прогнозированием последствий их реализации и выбором оптимального пути из возможных вариантов. Конструктивной особенностью моделей устойчивого регионального развития является имитирование трех типов взаимодействия компонент социо-эколого-экономических систем: - человеческой деятельности, влияющей на природные ресурсы; - социально-экономической динамики, влияющей на человеческую деятельность и на природные ресурсы; - государственно-правовое и нормативное регулирование, влияющее на экономику и экологическую ситуацию. Рассмотренные в статье модели могут быть использованы как средства практической интеграции индикаторов устойчивого развития, а также как системы поддержки принятия решений, облегчающие работу проектировщиков и госслужащих.

---

## References:

1. Ageeva A. F. Socio-natural and socio-ecologo-economic models designed by the method of agent modeling [Socialno – prirodnye i socio-ekologo – ekonomicheskie modeli, sozdannyespomoshh yu metoda agentnogo modelirovaniya] Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics. - 2018. - No. 4. pp. 100-115. (In Russ.)
2. Berman M et al. Adaptation and Sustainability in a Small Arctic Community: Results of an Agent-Based Simulation Model // ARCTIC. - 2004. - No. 4. - v. 57.- pp. 401 - 414.
3. Cioffi-Revilla C. MASON NorthLands: A Geospatial Agent-Based Model of Coupled Human-Artificial-Natural Systems in Boreal and Arctic Regions / Conf. Paper. - 2015: The Eleventh Conf. of the European Social Simulation Association, At Groningen, NL.
4. Gaudou B. et al. The MAELIA multi-agent platform for integrated assessment of low-water management issues // ?International Workshop on Multi-Agent Systems and Agent-Based Simulation?: MABS 2013. - pp. 85-100.
5. Islami I. et al. Modeling socio-ecological structure of local communities participation for managing livestock drinking water the agent-based approach // Applied Ecology and Environmental Research. - 2017. - No. 15(3). - pp. 1173-1192.
6. Lamperti F. et al. Faraway, so close: coupled climate and economic dynamics in an agent-based integrated assessment model // WP. - 2017. - p. 40.
7. Lamperti F. et al. Climate change and green transitions in an agent-based integrated assessment model // WP. - ISI Growth. - 44/2018. - p. 45.
8. Lektauers A., Trusins J., Trusina I. Combined multi-scale system dynamics and agent-based framework for sustainable community modelling // Sci. Journ. of Riga Technical Uni. Sustainable Spatial Development. - 2011. - v. 2. - pp. 23-29.
9. Li G. et al. Water-energy-food nexus in urban sustainable development: an agent-based model // Inter. Journal of Crowd Sci. - 2017. - v. 2. - is. 2. - pp. 121-132.
10. Van Berkel D. B., Verburg P. H. Combining exploratory scenarios and participatory backcasting: using an agent-based model in participatory policy design for a multi-functional landscape // Landscape Ecology. - 2012. - 27(5). - 641- 658.

11. Yan H. Agent-based modeling of sustainable ecological consumption for grasslands: a case study of Inner Mongolia // Sustainability. - 2019. - No. 11(8). <https://doi.org/10.3390/su11082261>

# Агентное моделирование социо-эколого-экономических систем в аспекте тестирования стратегий устойчивого развития

Агеева А. Ф.

*ЦЭМИ РАН*

*Российская Федерация, Москва*

## Аннотация

Представлен обзор разработанных зарубежными исследователями агент-ориентированных и мультиагентных социо-эколого-экономических моделей для целей тестирования вариативных стратегий устойчивого развития. На примере зарубежного опыта обосновывается эффективность использования агентного метода имитационного моделирования для тестирования экономических и административных механизмов реализации концепции устойчивого регионального развития и прогнозирования социальных, экономических и экологических последствий проведения экологической политики. Рассмотрены конструктивные особенности систем поддержки принятия решений, построенных с привлечением агентных технологий, представляющих эффективный современный инструмент разработки и тестирования стратегий устойчивого развития территорий, в том числе, городских и сельских, с особыми климатическими условиями, экологически уязвимых, испытывающих интенсивную антропогенную нагрузку и дефицит природных ресурсов, а также стратегий экологической политики, способствующей процессу перехода к “зеленым”, экологически чистым технологиям. Показаны преимущества агентного подхода для применения комплексного и междисциплинарного подхода в аспекте имитирования сложных взаимосвязей и взаимодействий компонентов социо-эколого-экономических систем. Рассмотрены актуальные задачи реализации стратегий устойчивого развития и экологической политики на современном этапе развития общества

**Ключевые слова:** агент-ориентированное моделирование, мультиагентные модели, устойчивое региональное развитие, экологическая политика

**Дата публикации:** 19.12.2019

## Ссылка для цитирования:

Агеева А. Ф. Агентное моделирование социо-эколого-экономических систем в аспекте тестирования стратегий устойчивого развития // Искусственные общества. 2019. Т. 14. Выпуск 4 [Электронный ресурс]. Доступ для зарегистрированных пользователей. URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800007439-1-1/> (дата обращения: 28.09.2020). DOI: 10.18254/S207751800007439-1