Е.А. Капогузов
д.э.н., профессор, зав. учебно-научной лабораторией,
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
ведущий научный сотрудник Института экономики РАН (Москва)

Р.И. Чупин
к.социол.н., научный сотрудник,
Омский научный центр Сибирского отделения РАН (Омск)

Р.А. Поспелов
аспирант, инженер учебно-научной лаборатории,
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (Москва)

АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЭКОНОМИЧЕСКОЙ НАУКЕ: ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Аннотация. Статья посвящена теоретико-методологическому обоснованию агент-ориентированного моделирования (АОМ) как инструмента преодоления кризиса ортодоксальной экономической теории. Авторы проводят системный критический анализ ограничений эконометрики и DSGE-моделей как исследовательских инструментов современной экономической науки в условиях структурной нестабильности и гетерогенности агентов. В работе представлена математическая архитектура агент-ориентированной вычислительной системы, включая сетевые структуры взаимодействий, и проведён компаративный анализ АОМ, эконометрики и DSGE-моделей. Авторы обосновывают вывод, что АОМ выступает не альтернативой, а необходимым дополнением к традиционным методам, позволяя моделировать эмерджентные макроэффекты на основе микроповедения агентов. Особое внимание уделяется перспективам методологической триангуляции, сочетающей эконометрическую верификацию, аналитические модели и имитационные эксперименты для анализа сложных экономических систем. В компаративной таблице и отдельном разделе авторами детально сопоставляются три исследовательские инструмента современной экономической науки — эконометрика, DSGE-модели и АОМ. В конце статьи авторы делают вывод о том, что АОМ, обладая высокой гибкостью и реалистичностью, является эффективным методом для сценарного анализа и изучения сложных экономических систем со множеством неоднородных агентов, но требует осторожной интерпретации и триангуляции результатов моделирования с учётом значимых ограничений и особенностей АОМ как исследовательского инструмента. Отдельные положения исследования подготовлены по государственному заданию Омского научного центра СО РАН (номер госрегистрации проекта 126012716015-6).

Ключевые слова: *агент-ориентированное моделирование, эконометрический анализ, методология экономической науки, DSGE-модели, критический анализ, сравнение исследовательских инструментов экономической науки.*
JEL: B25, C63, B41, C52
УДК: 519.86
DOI: 10.52342/2587-7666VTE_2026_4_37_51
© Е.А. Капогузов, Р.И. Чупин, Р.А. Поспелов, 2026
© ФГБУН Институт экономики РАН «Вопросы теоретической экономики», 2026

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: *Капогузов Е.А., Чупин Р.И., Поспелов Р.А.* Агент-ориентированное моделирование в экономической науке: теоретико-методологические основы // Вопросы теоретической экономики. 2026. №4. С. 37–51. DOI: 10.52342/2587-7666VTE_2026_4_37_51.

FOR CITATION: *Kapoguzov E., Chupin R., Pospelov R.* Agent-Based Modeling in Economic Science: Theoretical and Methodological Foundations // Voprosy teoreticheskoy ekonomiki. 2026. No. 4. Pp. 37–51. DOI: 10.52342/2587-7666VTE_2026_4_37_51.

Введение: методологический кризис ортодоксальной экономической теории

Исторически экономическая наука, развиваясь преимущественно в русле неоклассического мейнстрима, концентрировалась на исследовании статических или квазидинамических проблем оптимального выбора в условиях жёстких ресурсных ограничений. Фундаментом данной исследовательской программы выступает концепция рационального агента (*Homo economicus*), обладающего неограниченными когнитивными способностями и совершенным доступом к информации, с помощью которых он максимизирует свою функцию индивидуальной полезности посредством аппарата условной оптимизации. Для квантификации качественных теоретических положений в XX в. был сформирован мощный математико-статистический базис в лице эконометрики [*Axtell, Farmer*, 2022], которая представляет собой науку о применении статистических методов для анализа экономических данных и построения на их основе математических моделей, позволяющих изучать экономические процессы и явления. Данная дисциплина базируется на экономической теории, экономической статистике, экономических измерениях и математико-статическом инструментарии, позволяющих отразить количественное выражение качественных закономерностей и явлений в экономике.

Эконометрический подход ставит своей целью верификацию теоретических гипотез на основе анализа эмпирических данных. С формальной точки зрения классический эконометрический анализ оперирует стохастическими системами линейных или линеаризованных уравнений. Наиболее развитая форма такого анализа представлена моделями множественной регрессии для панельных данных:

$$Y_{it} = \beta_0 + \sum_{k=1}^{K} \beta_k X_{kit} + \gamma Z_{it} + \alpha_i + \delta_t + \varepsilon_{it}\,, \qquad (1)$$

где Y_{it} — эндогенный показатель для объекта i в дискретный момент времени t; β_0 — свободный член, X_{kit} — подмножество объясняющих факторов макро- или микроуровня; Z_{it} — вектор контрольных переменных; α_i — ненаблюдаемые фиксированные или случайные индивидуальные эффекты; δ_t — временные шоки; а ε_{it} — классический стохастический возмущающий член.

Оценка вектора параметров β_k осуществляется методами наименьших квадратов (МНК), обобщённого метода моментов (GMM) или максимального правдоподобия.

Несмотря на высокую степень математической строгости, череда глобальных макроэкономических шоков начала XXI в. (включая финансовый кризис 2008 г., пандемическую рецессию и современные беспрецедентные геополитические трансформации) продемонстрировала ограниченность ортодоксального инструментария. Традиционная эконометрика, равно как и доминирующие макроэкономические модели динамического стохастического общего равновесия (DSGE), оказались неспособны предсказать и объяснить фазовые переходы системы [*Dosi*, *Roventini*, 2019; *Farmer*, *Foley*, 2009]. Это обусловлено рядом фундаментальных эпистемологических дефектов:

1) *критика Лукаса и уязвимость ретроспективы.* Эконометрические параметры оцениваются на основе прошлых трендов, т.е. прогноз последующих значений переменных осуществляется на основе предыдущих значений. Поэтому при изменении регуляторной

среды, стратегий конкуренции, потребительских предпочтений (которые могут быть неустойчивы во времени), взаимосвязи явлений или при возникновении шоков агенты радикально меняют свои поведенческие паттерны, делая прежние эмпирические оценки параметров уравнений недействительными [*Fagiolo*, *Roventini*, 2017];

2) *проблема агрегирования и репрезентативного агента.* Редукция многообразия экономических субъектов к единому «среднему» агенту полностью исключает из анализа феномен сетевых взаимодействий. Локальные флуктуации на микроуровне, накладываясь друг на друга, способны каскадно порождать глобальные кризисы, что принципиально не улавливается агрегированными макромоделями;

3) *игнорирование неравновесности.* Классические модели искусственно постулируют стремление системы к устойчивому стационарному состоянию (пути сбалансированного роста), интерпретируя кризисы лишь как временные экзогенные отклонения от оптимума. В действительности же стационарного состояния в некоторых экономических явлениях может и не быть в принципе, что снижает эффективность эконометрики при её использовании для оценки и изучения подобных процессов. Тем не менее стоит сказать, что эконометрика временных рядов обладает обширным инструментарием для работы с нестационарными и неравновесными процессами, что отчасти позволяет в отдельных моделях исследовать неравновесные состояния, хотя и с определёнными существенными ограничениями, связанными с допустимыми пределами нестационарности и неравновесности, при которых коэффициенты корреляции и выявленные связи остаются в пределах допустимой значимости.

Также стоит отметить и другие значимые ограничения эконометрики как исследовательского инструмента:

1) *высокие требования к данным и их качеству,* которые позволяют исследовать с помощью эконометрики только те области экономики и явления в ней, где есть качественная статистика с надёжными данными, что существенно ограничивает возможные направления исследований. В частности, эту проблему часто пытаются решить на основе самостоятельного сбора данных (в том числе с помощью прокси переменных), их обработке и отчистке от различных искажений и выбросов, связанных с недостатками их сбора. В случае некачественных данных результаты эконометрических моделей будут неверны (что в целом относится к абсолютно любым количественным методам исследований), а создавать модели без статистических данных и вовсе не получится, так как эконометрические модели строятся на основе предыдущих значений переменных и трендов, которые оцениваются на предмет взаимосвязи между переменными;

2) *эконометрика показывает корреляцию данных, но не выявляет причинно-следственных связей корреляции.* Она демонстрирует лишь зависимости между рядами цифр, но не причину этой зависимости, т.е. условно эконометрика показывает, что ряд цифр А обратно зависим с неким коэффициентом от ряда цифр Б, но почему они зависимы друг от друга и почему именно с таким знаком и коэффициентом эконометрика не отвечает. Ответ на этот вопрос исследователь ищет в экономической теории и в экономических моделях, пытаясь объяснить выявленные зависимости или, наоборот, подтверждая выводы экономических моделей и теорий с помощью анализа эконометрических зависимостей. При этом вполне возможны ошибки первого и второго рода — наличие ложных зависимостей или неверная трактовка существующих зависимостей. При этом стоит отметить, что современная микроэконометрика (методы инструментальных переменных, разность разностей и др.) целенаправленно разрабатывается для выявления истинных причинно-следственных (каузальных) связей, а не просто фиксации корреляций, что отчасти компенсирует данный недостаток, но не полностью (так как его эффективность зависит от модели, качества и доступности данных и исследуемого явления) и не в отношении всех экономических явлений;

3) *ограничения прогнозирования и сравнения.* Для эконометрики они существенны в части прогнозирования и сравнения альтернатив, ибо прогноз строится на прошлых данных, а для сравнения необходимы схожие объекты, по которым есть статистические данные. Проблема прогнозирования на прошлых данных связана с тем, что сами основы явления могут измениться (о чём, в частности, говорилось выше) — например, может измениться стратегия поведения или ожидания агентов, что приведёт к существенному расхождению между прогнозом и фактическим результатом. Относительно сравнения альтернатив: ключевая проблема в том, что схожих объектов для сравнения часто не существует (например, нет двух одинаковых фирм, регионов или стран, выбравших альтернативные варианты проведения/политики/стратегии) либо по ним нет надёжных рядов статистических данных, поэтому сравнение альтернатив часто невозможно с помощью эконометрики. Исследователям приходится создавать «искусственных» двойников для сравнения, что не всегда позволяет провести качественное сравнение альтернатив для определения оптимального выбора. В целом эконометрика хорошо позволяет прогнозировать стабильные процессы, которые давно наблюдаются, но плохо позволяет прогнозировать кризисные или шоковые события, а также события, которые ранее не наблюдались. В части сравнения эконометрика хорошо сопоставляет однородные объекты или альтернативы, которые имеют схожие среды, внутри которых они реализовывались, но сравнивать неоднородные объекты или несуществующие / сложные альтернативы с помощью эконометрики практически невозможно, так как при этом результаты оценок могут быть существенно искажены;

4) *эконометрика преимущественно работает с количественными данными, а не качественными характеристиками.* Эконометрика базируется на количественных переменных и может учитывать качественные характеристики лишь с помощью фиктивных переменных имеющих значение 0 или 1 как выражение отсутствия или наличия качественного признака. Также эконометрика может отражать количественные зависимости в качественных данных, но не позволяет анализировать качественные взаимосвязи между ними, например, эконометрика может показать, что низкий доход чаще всего встречается у пенсионеров, но она не покажет, что это связано с тем, что пенсионеры получают пенсию, а не зарплату, или что их не берут на работу из-за возраста или состояния здоровья. Поэтому эконометрика — это скорее способ количественных исследований, тогда как качественные составляющие остаются за пределами эконометрического анализа и исследуются с помощью иных исследовательских инструментов. Фиктивные переменные лишь отчасти позволяют учитывать качественные признаки и могут плохо отражать наборы признаков или их разнообразие у агентов, что отчасти также связано с ранее упомянутой проблемой агрегирования и репрезентативного агента.

Из-за этих недостатков и ограничений эконометрического анализа экономисты продолжают искать новые исследовательские инструменты для анализа выбора экономических агентов в условиях ограниченных ресурсов. В частности, с развитием цифровых технологий и ИИ экономисты с начала XXI в. всё чаще начинают применять в своих исследованиях имитационное и, в особенности, агент-ориентированное моделирование, позволяющее симулировать поведение экономических агентов в различных условиях в рамках осуществления ими сложного экономического выбора в том числе в рамках взаимодействий друг с другом, учитывая их неоднородность и наличие стохастических переменных, влияющих на их поведение и выбор [*Dawid*, *Delli Gatti*, 2018].

Можно сказать, что следствием методологического тупика стало формирование парадигмы сложной эволюционной экономики *(Complexity Economics)* [*Arthur*, 2021; *Farmer*, *Foley*, 2009], рассматривающей хозяйственную среду как сложную адаптивную систему (Complex Adaptive System). Ключевым вычислительным и теоретическим методом данной парадигмы выступает агент-ориентированное моделирование (АОМ), позволяющее реконструировать глобальные макроэкономические феномены на основе симуляции множества автономных локальных взаимодействий (см. рис. 1).

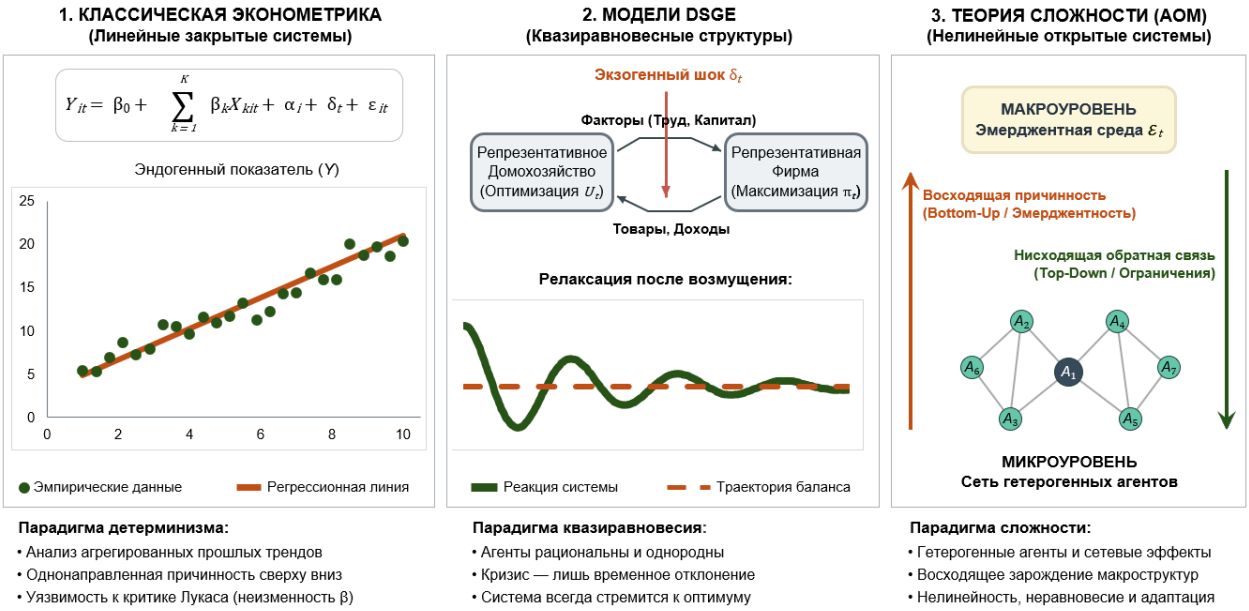


Рис. 1. Смена эпистемологических парадигм в экономической науке:
от механистического детерминизма к теории сложности
Источник: составлено авторами.

Агент-ориентированное имитационное моделирование

Рассмотрим подробнее, что такое агент-ориентированное моделирование (АОМ) и что оно даёт исследователям для изучения экономических явлений и процессов.

АОМ является одним из трёх видов имитационного моделирования, а само имитационное моделирование — один из частных случаев математического моделирования (рис. 1). «Имитационное моделирование — это метод, позволяющий строить и реализовывать модели, отражающие процессы, происходящие в системе, во времени» [Худякова, Липатов, 2021. С. 10]. Имитационное моделирование производится на основе аналитического математического моделирования. Объект заменяется имитационной моделью, которая с достаточной точностью отражает реальную систему, и которая отражает процессы так, как они проходили бы в действительности. Классик имитационного моделирования Р. Шеннон приводит такое определение имитационного моделирования: «Имитационное моделирование есть процесс конструирования модели реальной системы и постановка экспериментов на этой модели с целью либо понять поведение системы, либо оценить различные стратегии, обеспечивающие функционирование этой системы» (цит. по: [Худякова, Липатов, 2021. С. 11]). При имитационном моделировании логико-математическая модель исследуемой системы представляет собой алгоритм функционирования системы, программно-реализуемый на компьютере с помощью компьютерного моделирования. Имитации представляют собой компьютерную симуляцию работы прописанной системы, внутри которой неоднородные агенты ход за ходом (или непрерывно) осуществляют свой выбор при ограниченных ресурсах, стремясь достичь собственных целей.

Имитационная модель отражает функционирование реальной системы и составляющих её элементов с сохранением логической структуры системы и динамики взаимодействия её элементов. Фактически имитационная модель — это выполненное на некотором формальном языке (с помощью программы) описание логики функционирования исследуемой системы и взаимодействия отдельных её элементов во времени, учитывающее наиболее существенные причинно-следственные связи с заданием неких начальных значений параметров, соответствующих нулевому моменту времени. Этот метод моделирования не всегда требует составления уравнений, а тем более их решения.

В рамках АОМ в качестве имитационной модели выступает децентрализованная система в дискретном времени и пространстве, в рамках которой исследователь определяет

поведение каждого отдельного агента системы, а глобальное поведение систем возникает как результат деятельности многих агентов, действующих по собственным правилам и связанных друг с другом. То есть фактически исследователь задаёт лишь поведение агентов в системе — микроуровень системы, а итоговое состояние системы исследователем не регулируется и возникает вследствие взаимодействия самих агентов внутри системы без прямого влияния исследователя на макроуровень системы в модели [*Агент-ориентированные модели…*, 2022].

Поэтому агентные модели также называют моделями «снизу-вверх». АОМ позволит имитировать поведение и характеристики реальных участников рынка в тех или иных условиях, связанных с характеристиками среды — например, с организацией и характеристиками рынка или государственной экономической политикой. На практике, АОМ позволяет спрогнозировать, к какому состоянию придёт рынок при каждой дискретной структурной альтернативе организации рынка и при тех или иных его особенностях и особенностях его участников, связанных горизонтом планирования агентов и асимметрией информации, а также их конкурентной стратегией.

АОМ позволяет сравнивать между собой альтернативы, как существующие ранее, так и полностью теоретические с помощью имитационных экспериментов на основе компьютерной симуляции и математических вычислений, причём используя параметры как поведения экономических агентов, так и природной среды [*An*, 2012]. Но при этом качество полученных результатов моделирования полностью зависит от качества отражения в функциях агентов и рынка реальных фактов, а также учёта возможных эффектов и искажений, возникающих на практике, — например «проблемы безбилетника» или «вымогательства». Поэтому экономические выводы из модели будут иметь существенные ограничения в виде условий модели и условий экспериментов, при которых они были получены. Но несомненным преимуществом АОМ является, в отличие от эконометрической оценки, возможность сравнить среди прочего несуществовавшие альтернативы, менее жёсткие требования к данным, возможность вводить стохастические переменные и относительная дешевизна проведения экспериментов, дающая возможность увеличить их количество.

Агенты в АОМ могут иметь следующие особенности, которые может ввести исследователь:

- автономность, которая означает, что все агенты независимы друг от друга, а единая система регулирующая поведение каждого отдельного агента, отсутствует;
- неоднородность, которая означает, что агенты в модели различаются по разным параметрам, делающих их уникальными и разнородными;
- ограниченная рациональность, которая означает, что агенты в модели могут вести себя нерационально относительно всей системы, но рационально относительно своих собственных функций. Поэтому, осуществляя выбор, они, как им кажется, максимизируют свою полезность/выгоду. Однако в рамках системы, это не обязательно наилучший выбор для них с точки зрения максимизации;
- расположение в пространстве, которое означает, что у агентов есть «среда обитания», на которую агенты могут влиять или внутри которой они могут перемещаться;
- реактивность, означающая, что агенты воспринимают среду вокруг себя и других агентов, реагируют на их поведение, меняя своё;
- целерациональность, согласно которой агенты в модели не просто реагируют на среду вокруг себя, но и могут целенаправленно менять среду и своё поведение для достижения собственной цели.

Таким образом, АОМ позволяет симулировать поведение множества неоднородных агентов в сложной среде с разными функциями принятия решений. При этом поведение агентов в конечном итоге создаёт новые правила функционирования системы. Например,

с помощью данного инструмента можно имитировать рынок, состоящий из неоднородных покупателей, производителей товаров, поставщиков ресурсов, и протестировать, как будет меняться стратегия игроков при той или иной структуре рынка и свойств товара (при условии, что каждый агент будет пытаться максимизировать свою прибыль/выгоду). В такой симуляции можно будет сравнить и разные структуры рынка, и разные модели (стратегии) поведения агентов. Также можно посмотреть, как те или иные институты будут влиять на рыночные итоги — в том числе на макропоказатели производства и реализации продукции.

Важно отметить, что результаты, полученные с помощью АОМ, существенно ограничены предпосылками и допущениями, на основе которых была построена модель. Поэтому любые выводы необходимо делать с упоминанием того, что они верны только при верности заложенных предпосылок и обоснованности сделанных допущений.

Математическая архитектоника агент-ориентированных вычислительных систем

Рассмотрим подробнее методологическое ядро АОМ, которое базируется на концепции восходящего проектирования (*bottom-up design*) [*Epstein*, *Axtell*, 1996; *Tesfatsion*, 2006]. Вместо конструирования законов макроуровня исследователь фокусируется на алгоритмизации микроуровня, создавая цифровые спецификации индивидуальных поведенческих актов.

Для начала рассмотрим формальную декомпозицию и микродинамику агента внутри агент-ориентированной модели. Пусть в дискретном пространстве и времени функционирует популяция из N автономных агентов. Каждый агент в каждый момент времени t представляет собой динамический кортеж строго заданных математических объектов [*Macal*, *North*, 2010]:

$$Agent_i^t = \langle S_i^t, O_i^t, M_i^t, Act_i^t, R_i \rangle, \tag{2}$$

где: $S_i^t \in \mathcal{S}$ — это конечномерный вектор эндогенных состояний агента (например, текущий объём ликвидности, уровень производственных мощностей, индивидуальный порог толерантности к риску и т.д.); $O_i^t: \mathcal{E}^t \to \widetilde{\mathcal{E}_i^t}$ — это оператор неполного наблюдения макросреды. Данная функция отражает феномен информационной асимметрии: агент фиксирует лишь локальные параметры подмножества среды $\tilde{\mathcal{E}}_i^t \subset \mathcal{E}^t$; $M_i^t = \left[S_i^{t-1}, S_i^{t-2}, \dots, S_i^{t-k}\right]$ — это тензор памяти агента, глубина которого ограничена величиной лага k. Память аккумулирует ретроспективный опыт взаимодействий и служит основой для процессов обучения агентов, направленного на выработки ими новых стратегий и алгоритмов принятия решений; $Act_i^t \in \mathcal{A}$ – это дискретное или непрерывное пространство допустимых управляющих воздействий (альтернативных стратегий, решений, вариантов выбора у агента), доступных агенту на текущем шаге симуляции, т.е. перечень его возможный действий; $R_i: \mathcal{S} \times \widetilde{\mathcal{E}}_\iota \times \mathcal{M} \to \mathcal{A}$ — это операциональное решающее правило (функция выбора / политика принятия решения), отображающее внутренние и внешние параметры в конкретное действие. В зависимости от сложности модели, может быть реализовано в виде простых эвристик (систем продукционных правил), нейросетевых архитектур или моделей обучения с подкреплением (Reinforcement Learning). Фактически это правила, по которым агенты функционируют.

С помощью данных математических операторов в агент-ориентированной модели описывается агент и правила его функционирования. Рассмотрим далее, как меняется состояние агента между шагами в рамках агент-ориентированного моделирования.

Переход вектора внутренних состояний агента на следующий временной шаг описывается следующим ниже нелинейным стохастическим разностным уравнением:

$$S_i^{t+1} = f_i\left(S_i^t, O_i^t M^{t+1}, Act_i^t, \xi_t\right), \tag{3}$$

где: $\xi_t \overset{\text{i.i.d.}}{\sim} \mathcal{N}(0, \Sigma)$ — вектор независимых одинаково распределённых стохастических возмущений, моделирующий ограниченную рациональность субъекта и случайные флуктуации внешней среды. Глобальное состояние макроэкономической среды M^{t+1} является эмерджентным свойством (emergent property) и формируется как результат нелинейного агрегирования действий всего ансамбля агентов через оператора макроперехода Φ:

$$M^{t+1} = \Phi(M^t, Act_1^t, Act_2^t, \ldots, Act_N^t) + \Psi_t, \quad (4)$$

где Ψ_t — вектор макроэкономических шоков (политических, природно-климатических, конъюнктурных и иных).

Данное уравнение описывает, как агенты меняют своё состояние между ходами (шагами) в зависимости от своего предыдущего состояния, изменившегося состояния среды, выбранных ранее действий и решений, обусловивших этот ход, и произошедших случайных событий, вроде макроэкономических шоков, существенно меняющих правила игры.

На рис. 2 подробно представлено как работает агент-ориентированное моделирование — как алгоритмический цикл уравнений, которые описаны выше.

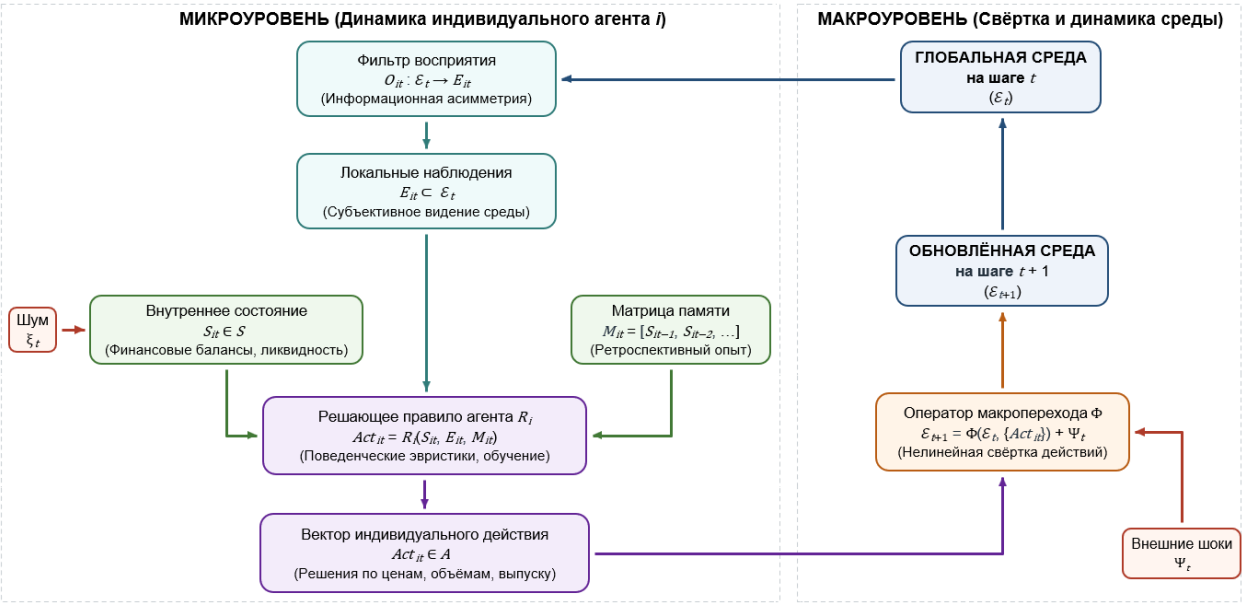


Рис. 2. Алгоритмический цикл агентной микродинамики и эмерджентной макрогенерации
Источник: составлено авторами.

Важнейшее преимущество АОМ перед классическими методами математического моделирования — отказ от гипотезы «всеобщего перемешивания» (mean-field approximation). Взаимодействия между агентами внутри агент-ориентированных моделей локализованы и протекают в рамках сетевых структур, задаваемых пространственным графом, где V — множество вершин (агентов), A — это множество рёбер (каналов коммуникации, транзакций, цепочек поставок). В зависимости от специфики экономической подсистемы топология графа специфицируется данными классами [*Shoham*, *Leyton-Brown*, 2008]:

- безмасштабные сети (*Scale-Free Networks):* распределение степеней узлов подчиняется степенному закону. Данная топология важна при моделировании межбанковских кредитных рынков: наличие крупных узлов-хабов объясняет высокую робастность сети к случайным сбоям и катастрофическую уязвимость к таргетированным шокам;
- сети «тесного мира» (Small-World Networks): характеризуются малым средним кратчайшим путём между узлами при высоком коэффициенте кластеризации. Применяются для моделирования процессов диффузии информации, распространения панических настроений на фондовых рынках или потребительских предпочтений.

Использование сетевых структур — ещё одно преимущество агент-ориентированного моделирования, так как в его рамках можно симулировать целиком сложные взаимосвязанные системы неоднородных агентов, где действия одного агента влияют на действия других агентов, при этом действия агентов взаимосвязаны и, в свою очередь, влияют в совокупности на состояние среды. В рамках эконометрического анализа воссоздать подобную взаимосвязь невозможно, поэтому агент-ориентированное моделирование лучше подходит для изучения сложных экономических систем с множеством неоднородных агентов.

Отдельно стоит рассмотреть процедуру статистического анализа результатов АОМ. В отличие от других исследовательских инструментов АОМ не даёт детерминированных точечных прогнозов, а генерирует «веер вероятностных сценариев» развития сложной системы и позволяет проводить «стресс-тестирование». Симуляция (запуск модели АОМ) «прогоняется» вычислительно множество раз со случайными или заданными вариациями стартовых параметров (метод Монте-Карло), и именно распределение результатов этих прогонов формирует искомый вероятностный веер сценариев. Затем этот веер сценариев оформляется в виде таблиц, графиков, схем / набора показателей, карт, схем, графов и т.д. с помощью которых проводится анализ результатов для формирования выводов и научных знаний. Чаще всего результаты усредняются (берётся средняя за 10-20 и большее количество симуляций) и проводится стресс-тестирование с помощью анализа наибольших отклонений между сценариями и причин данных отклонений — например, если изначально задана высокая себестоимость, то предполагается низкая прибыль при высокой конкуренции — это нормально, но если наоборот: прибыль высокая, то нужно понять, почему так получилось. Не является ли это ошибкой спецификации (условий и формул) модели? Так же отдельно проводится калибровка модели с помощью подбора наиболее реалистичных стартовых параметров и исправления внутренних механизмов поведения и взаимодействия агентов для увеличения правдоподобия. Фактически модель дорабатывается чтобы затем на ней можно было бы обосновано сравнивать разные сценарии, подтверждая их реалистичность при тех или иных заданных условиях.

Формат выводимых результатов, как и содержание модели и подаваемые ей условия полностью определяются самим исследователем (так как АОМ — это фактически компьютерная симуляция, в том числе с возможностью использования нейросетей и агентов на их основе), что даёт большие возможности создания необходимого дизайна для широкого круга сложных экономических явлений симулируя любые их возможные формы и условия протекающих процессов внутри них, а также любые разновидности их участников. Соответственно, калибровка модели, анализ результатов и их стресс-тестирование зависят от дизайна созданной модели и могут существенно отличаться в зависимости от модели и проводимого исследования. С одной стороны, это даёт определённые преимущества АОМ перед другими исследовательскими инструментами, но с другой — это создаёт проблемы с воспроизводимостью и доказательством объективности и обоснованности моделей АОМ. Эти модели зависят от верности заданных условий и алгоритмов, верности предложенных значений переменных, качества калибровки и анализа результатов исследователем, их применяющим.

Сравнительный анализ исследовательских парадигм в экономической науке

Сравним АОМ, эконометрический анализ и модели DSGE (последние, в частности, применяются в ЦБ России в рамках макроэкономических исследований [*Крепцев, Селезнев,* 2016]).

1. *Подход к системе и её построению.* В рамках эконометрики и DSGE-моделирования модели строятся через подход «сверху вниз», в рамках которого описывается в первую очередь сама система и поведение/взаимосвязи внутри неё, а не отдельные агенты как таковые. Поэтому часто при применении данных исследовательских инструментов гетерогенность

агентов либо игнорируется (в рамках предположения о «репрезентативном агенте»), либо учитывается косвенно и ограниченно через специальные переменные в модели, что, однако, не позволяет в явном виде анализировать поведение каждого отдельно взятого агента внутри системы. Напротив, АОМ опирается на подход «снизу-вверх» при построении модели, что позволяет исследователю задавать правила поведения индивидуальных, заведомо неоднородных, агентов. Макроэкономический результат возникает как эмерджентный эффект их локальных взаимодействий между собой и с самой системой. Это позволяет при использовании АОМ моделировать микроуровень с высокой детализацией, фиксируя уникальность каждого агента, а в дальнейшем анализировать поведение каждого отдельного агента внутри системы и во взаимодействии друг с другом. Именно это является существенным преимуществом АОМ в случаях, когда исследователь хочет глубоко проанализировать разные стратегии поведения разнородных агентов в сложных системах, построенных, исходя из их собственного взаимодействия.

2. *Требования к данным и возможности инструментов для прогнозирования.* Эконометрика предъявляет достаточно высокие требования к данным. Математическое моделирование общего равновесия (DSGE) может осуществляться и в чисто теоретической форме без опоры на реальные статистические данные, но калибровка и верификация подобных моделей всё равно требуют существенных данных. АОМ опирается на микроданные, которые позволяют описать в уравнениях правила и модели поведения агентов внутри системы и среду, в которой они находятся. Также в рамках агент-ориентированного моделирования допускается использование стохастических переменных, что позволяет учитывать случайность и непрогнозируемую неопределённость в моделях. Благодаря этому АОМ позволяет проводить множество экспериментов для сценариев, которые не имели аналогов в прошлом. Это делает данный инструмент полезным для проведения анализа альтернатив экономической политики.

3. *Учёт гетерогенности агентов, адаптации и взаимодействий между агентами.* Ключевое различие между сравниваемыми инструментами в данной области заключается в их способности отражать сложное поведение агентов внутри системы и при взаимодействии друг с другом и с окружающей их средой. В эконометрике гетерогенность агентов учитывается через фиктивные переменные или разделение выборок в рамках уравнений регрессии, но при этом адаптивное поведение агентов (их обучение и изменение их стратегий в процессе) в стандартных спецификациях регрессий не предполагается, а возможности их учитывать ограничены из-за технических особенностей данного инструмента. DSGE-моделирование чаще всего опирается в рамках уравнений на стабильные параметры и однородность агентов для упрощения проведения расчётов, а взаимодействие агентов и вовсе чаще всего исключается из модели с помощью его выражения опосредованно через рыночные цены или упрощённые уравнения связей через уравнения бюджетных ограничений. В АОМ каждый агент может быть наделён уникальными характеристиками, ограниченной рациональностью, способностью к обучению (в том числе с использованием элементов искусственного интеллекта) и индивидуальным пространственным расположением, что ограничивается лишь техническими возможностями. Внутри этих моделей взаимодействия между агентами могут быть также крайне сложными и вариативными (например, по типу социальных сетей, сложных коммуникаций, разных моделей распространения информации и т.д.), что позволяет эффективно и реалистично моделировать также такие феномены, как паника, стадное поведение или кластеризация.

4. *Сильные и слабые стороны с точки зрения валидности полученных результатов с помощью данных исследовательских инструментов.* Эконометрика обеспечивает строгую статистическую верификацию полученных результатов на реальных данных, но чаще всего сама информация о причинах наличия взаимосвязей остаётся «чёрным ящиком», который предстоит разгадать самому исследователю с помощью иных инструментов анализа (чаще всего качественных). DSGE-моделирование даёт достаточно подробные и прозрачные

аналитические выводы. В их рамках каждый шаг при решении уравнений может иметь своё экономическое объяснение и обоснование, а также и свои значимые выводы. Но при этом данный инструмент вынуждено опирается на сильные допущения (линейность, непрерывность, равновесие), что часто может ставить под сомнение некоторые выводы, делая их легко оспариваемыми и часто сложно подтверждаемыми на реальных данных. В отличие от эконометрики и DSGE-моделирования, АОМ обладает высокой гибкостью и реалистичностью в проведении экспериментов, что позволяет подробно наблюдать динамику «ход за ходом» внутри модели. При этом исследователь сталкивается с проблемами верификации, калибровки и воспроизводимости полученных результатов из-за того, что фактически агенты и сама система работает по заданным разработчиками АОМ уравнениям. Наличие стохастических переменных делает каждый запуск уникальным, поэтому некоторые результаты сложно воспроизвести. Результаты зависят напрямую от качества заданных уравнений, которые могут быть неверными из-за неверных представлений исследователя о процессах, которые он пытается моделировать.

В целом каждый из представленных трёх исследовательских инструментов в рамках экономической науки занимает свою собственную нишу. В частности, эконометрика остаётся основным и самым надёжным методом для ретроспективного анализа и прогнозирования при наличии надёжных количественных данных. DSGE-моделирование эффективно для исследования общих закономерностей и равновесных состояний в хорошо структурированных системах, что позволяет создавать качественные уравнения и модели для анализа экономических систем и теорий, в которых могут быть модели (например, в рамках новой институциональной теории). АОМ является развивающимся, относительно молодым инструментом, который исследователи пытаются применять с разной степенью успешности в ситуациях, когда: 1) ключевую роль играет гетерогенность и адаптивное поведение агентов, которое необходимо изучать углублённо в сложных формах; 2) отсутствуют или недостаточны имеющиеся статистические данные для качественного эконометрического анализа; 3) необходимо сравнить альтернативы и варианты, не имеющие прецедентов, а их симулирование в иных моделях крайне осложнено; 4) исследуются механизмы возникновения макроявлений из микровзаимодействий в рамках сложных взаимоотношений существенно неоднородных агентов. Дальнейшее развитие АОМ связано в первую очередь с применением искусственного интеллекта, в частности машинного обучения [*Campos, Rao, Brazdil*, 2025]. При этом АОМ вполне естественно не заменяет, а лишь дополняет традиционные методы экономических исследований, позволяя проводить вычислительные эксперименты там, где классические инструменты бессильны или существенно неэффективны. В табл. 1 представлено подробное сравнение АОМ, DSGE-моделирования и эконометрики.

Заключение

АОМ представляет собой методологический базис, позволяющий преодолеть часть ограничений неоклассической теории и технические ограничения эконометрического анализа. Способность агент-ориентированных моделей адекватно оперировать гетерогенностью, локальностью сетевых трансакций и эмерджентной природой макрофеноменов делает его незаменимым инструментом в условиях нарастающей турбулентности. Вместе с тем авторы подчёркивают необходимость строгого и взвешенного подхода к интерпретации результатов симуляций. АОМ генерирует не точечный детерминированный прогноз, а веер вероятностных сценариев развития сложной системы. Наиболее перспективный дизайн будущих экономических исследований должен строиться на принципах жёсткой методологической триангуляции: эмпирическом тестировании гипотез на реальных эконометрических панелях, концептуальном обобщении в рамках аналитических моделей общего равновесия и стресс-тестировании устойчивости макросистем посредством агент-ориентированных компьютерных симуляций нового поколения.

Таблица 1
Сравнение агент-ориентированного моделирования и других методов исследований в экономической науке

Критерий	Эконометрика	DSGE-модели	Агент-ориентированное моделирование
Суть метода	Использование статистических методов для анализа взаимосвязей между экономическими переменными на основе реальных данных	Описание системы с помощью системы уравнений (дифференциальных, разностных и т.д.), отражающих законы функционирования системы	Компьютерное имитационное моделирование, где система представляется как совокупность автономных агентов, взаимодействующих друг с другом и со средой
Основной объект	Переменные и их статистическая связь (корреляция)	Агрегированные показатели (спрос, предложение, ВВП, цена и т.д.)	Индивидуальные агенты (люди, фирмы) с собственными правилами поведения
Подход к системе	**«Сверху вниз»** (Top-down). Изучается поведение агрегированной системы, чтобы понять связи	**«Сверху вниз»** (Top-down). Задаются общие законы для всей системы в целом	**«Снизу вверх»** (Bottom-up). Глобальное поведение возникает из локальных взаимодействий агентов
Вектор каузальности	Фиксация статистических зависимостей агрегатов	Дедуктивный вывод из общих условий равновесия.	Эмерджентное рождение макроэффектов из микродействий
Динамика времени	Статичные срезы или сглаженные лаги временных рядов	Непрерывное или дискретное время в рамках траекторий устойчивого роста	Пошаговая («ход за ходом») эволюционная динамика, неравновесность
Данные	Критически важны. Требуются большие выборки исторических данных (временные ряды, панельные данные)	Данные нужны для калибровки параметров уравнений и верификации. Модель может существовать и без данных (теоретическая)	Данные нужны для описания правил поведения агентов и начального распределения характеристик (микроданные). Могут быть в том числе стохастические переменные
Уровень детализации	**Макроуровень.** Оперирует средними величинами и агрегатами	**Мезо/Макроуровень.** Оперирует непрерывными величинами, предполагает однородность агентов («репрезентативный агент»)	**Микроуровень.** Каждый объект уникален. Гетерогенность агентов — ключевая особенность
Учёт гетерогенности	Ограничен (фиктивные переменные, разделение выборок)	Практически отсутствует (предположение о репрезентативном агенте)	Высокий (каждый агент может иметь возраст, пол, предпочтения, стратегию)
Учёт взаимодействий	Косвенный (через корреляцию ошибок или лаги)	Прямой, но упрощённый (через уравнения связей). Часто взаимодействие опосредовано рынком (через цену)	Прямой и сложный (социальные сети, коммуникация, распространение информации, географическое соседство)

Окончание табл. 1

Критерий	Эконометрика	DSGE-модели	Агент-ориентированное моделирование
Поведенческий базис	Экспонируемые предпочтения (revealed preferences) без вскрытия мотивов	Совершенная рациональность, концепция репрезентативного агента	Ограниченная рациональность, поведенческие эвристики, гетерогенность
Информационные ограничения	Симметричный доступ к историческим рядам данных	Идеальная симметрия, рациональные ожидания (Rational Expectations)	Глубокая информационная асимметрия, локальное зрение, субъективные ожидания
Адаптация и обучение	Не предполагается. Связи стабильны во времени (если не используется спецификация с меняющимися коэффициентами)	Обычно не предполагается (жёсткие параметры модели)	Агенты могут обучаться, эволюционировать, менять стратегии под влиянием опыта (в том числе с помощью искусственного интеллекта)
Результат	Уравнение регрессии, коэффициенты эластичности, доверительные интервалы, проверка гипотез	Аналитическое решение или траектория движения системы к равновесию	Компьютерная симуляция. Траектории развития, распределения показателей, паттерны поведения, стратегии агентов и достигнутые состояния
Эмпирическая валидация	Прямые тесты статистической значимости (критерий Фишера)	Калибровка параметров по историческим макромоментам	Сложная калибровка («подгонка микрофункций»), анализ распределений ансамблей
Сильные стороны	Строгая статистическая верификация на реальных данных. Проверка гипотез. Прогнозирование. Проверяемые и подтверждаемые результаты	Прозрачность, возможность аналитического вывода общих закономерностей. Возможность проверить и с помощью аналитики подтвердить или опровергнуть полученные результаты	Гибкость, реалистичность, возможность моделировать сложные социальные эффекты (панику, моду, сегрегацию). Минимальные требования к данным и возможность прогнозировать любые предполагаемые сценарии независимо от наличия примеров этих сценариев в виде реальных данных
Слабые стороны	«Чёрный ящик» (не всегда понятна причинно-следственная связь и её источник), требует много реальных данных, плохо работает в новых условиях (смена режимов или условий рынка)	Сильные допущения (линейность, гомогенность), сложность решения для нелинейных систем, оторванность от микроповедения агентов	Сложность верификации и калибровки, высокая вычислительная сложность, трудность статистического анализа результатов («модель подгоняется под ответ»). Часто сложное повторение результатов и сложность подтверждения полученных результатов

Источник: составлено авторами.

ЛИТЕРАТУРА

Агент-ориентированные модели: учебное пособие (2022) / Под ред. В.Л. Макарова, А.Р. Бахтизина, Е.Д. Сушко. — Москва: Департамент научных изданий ГАУГН.

Крепцев Д., Селезнев С. (2016). *DSGE-модели российской экономики с малым количеством уравнений*. Серия докладов об экономических исследованиях / Банк России. № 12. Май. URL: https://cbr.ru/Content/Document/File/16728/wps_12.pdf (дата обращения: 07.08.2026).

Худякова Е.В., Липатов А.А. (2021). Имитационное моделирование процессов и систем в АПК: Учебник. — М: ИКЦ «Колос-с».

An L. (2012). Modeling human decisions in coupled human and natural systems: Review of agent-based models // *Ecological Modelling*. Vol. 229. Pp. 25–36.

Arthur W.B. (2021). Foundations of complexity economics // *Nature Reviews Physics*. Vol. 3. No. 2. Pp. 136–145.

Axtell R.L., Farmer J.D. (2022). Agent-based modeling in economics and finance: past, present, and future // *Journal of Economic Literature*. Vol. 60 No. 4. Pp. 1302–1354.

Campos P., Rao A., Brazdil P. (2025). Agent-Based Modeling and Learning in Economics: An Overview // *Machine Learning Perspectives of Agent-Based Models.* — Switzerland: Springer. Pp. 9–48.

Dawid H., Delli Gatti D. (2018). Agent-based macroeconomics // *Handbook of Computational Economics*. No. 4. Pp. 63–156.

Dosi G., Roventini A. (2019). More is different... and complex! The case for agent-based macroeconomics // *Journal of Evolutionary Economics*. Vol. 29. No. 1. Pp. 1–37.

Epstein J. M., Axtell R. (1996). *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*. — NY: Brookings Institution Press.

Fagiolo G., Roventini A. (2017). Macroeconomic policy in DSGE and agent-based models redux: new developments and challenges ahead // *Journal of Artificial Societies and Social Simulation.* Vol. 20. No. 1. URL: http://jasss.soc.surrey.ac.uk/20/1/1.html. DOI: 10.18564/jasss.3280 (access date: 07.08.2026).

Farmer J.D., Foley D. (2009). The economy needs agent-based modeling // *Nature*. No. 460. Pp. 685–686.

Macal C.M., North M.J. (2010). Tutorial on agent-based modelling and simulation // *Journal of Simulation.* Vol. 4. No. 3. Pp. 151–162.

Shoham Y., Leyton-Brown K. (2008). *Multiagent Systems: Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations.* — Cambridge: Cambridge University Press.

Tesfatsion L. (2006). Agent-based computational economics: A constructive approach to economic theory // *Handbook of Computational Economics*. No. 2. Pp. 831–880.

REFERENCES

Agent-Based Models: A Textbook (2022) / Ed. by V.L. Makarov, A.R. Bakhtizin, E.D. Sushko. M.: Department of Scientific Publications of GAUGN. (In Russ.).

An L. (2012). Modeling human decisions in coupled human and natural systems: Review of agent-based models // *Ecological Modelling*. Vol. 229. Pp. 25–36.

Arthur W.B. (2021). Foundations of complexity economics // *Nature Reviews Physics*. Vol. 3. No. 2. Pp. 136–145.

Axtell R.L., Farmer J.D. (2022). Agent-based modeling in economics and finance: Past, present, and future // *Journal of Economic Literature*. Vol. 60. No. 4. Pp. 1302–1354.

Campos P., Rao A., Brazdil P. (2025). Agent-Based Modeling and Learning in Economics: An Overview // *Machine Learning Perspectives of Agent-Based Models.* Pp. 9–48. — Switzerland: Springer.

Dawid H., Delli Gatti D. (2018). Agent-based macroeconomics // *Handbook of Computational Economics*. No. 4. Pp. 63–156.

Dosi G., Roventini A. (2019). More is different... and complex! The case for agent-based macroeconomics // *Journal of Evolutionary Economics*. Vol. 29. No. 1. Pp. 1–37.

Epstein J. M., Axtell R. (1996). *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*. — NY: Brookings Institution Press.

Fagiolo G., Roventini A. (2017). Macroeconomic policy in DSGE and agent-based models redux: New developments and challenges ahead // *Journal of Artificial Societies and Social Simulation.* Vol. 20. No. 1. URL: http://jasss.soc.surrey.ac.uk/20/1/1.html. DOI: 10.18564/jasss.3280 (access date: 07.08.2026).

Farmer J.D., Foley D. (2009). The economy needs agent-based modeling // *Nature*. No. 460. Pp. 685–686.

Khudyakova E.V., Lipatov A.A. (2021). *Simulation Modeling of Processes and Systems in the Agro-Industrial Complex*. Textbook. — M.: Kolos-s. (In Russ.).

Kreptsev D., Seleznev S. (2016). *DSGE Models of the Russian Economy with a Small Number of Equations*. Series of Reports on Economic Research / Bank of Russia. No. 12. May. URL: https://cbr.ru/Content/Document/File/16728/wps_12.pdf (access date: 07.08.2026). (In Russ.).

Macal C.M., North M.J. (2010). Tutorial on agent-based modelling and simulation // *Journal of Simulation*. Vol. 4. No. 3. Pp. 151–162.

Shoham Y., Leyton-Brown K. (2008). *Multiagent Systems: Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations.* — Cambridge: Cambridge University Press.

Tesfatsion L. (2006). Agent-based computational economics: A constructive approach to economic theory // *Handbook of Computational Economics*. No. 2. Pp. 831–880.

Капогузов Евгений Алексеевич
ORCID: 0000-0001-8083-5654
egenk@mail.ru

Evgeny Kapoguzov
Doctor of Economics, Professor, Head Laboratory for studying the economies of the BRICS countries Lomonosov Moscow State University, leading researcher at the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences
ORCID: 0000-0001-8083-5654
egenk@mail.ru

Чупин Роман Игоревич
ORCID: 0000-0002-8904-1380
Roman-chupin@ya.ru

Roman Chupin
Ph.D. (sociology), researcher, Omsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
ORCID: 0000-0002-8904-1380
Roman-chupin@ya.ru

Поспелов Роман Алексеевич
roman.pospelov.90@mail.ru

Roman Pospelov
postgraduate student, engineer of Laboratory for studying the economies of the BRICS countries Lomonosov Moscow State University
roman.pospelov.90@mail.ru

AGENT-BASED MODELING IN ECONOMIC SCIENCE: THEORETICAL AND METHODOLOGICAL FOUNDATIONS

Abstract. This article provides a theoretical and methodological justification for agent-based modeling (ABM) as a tool for overcoming the crisis of orthodox economic theory. The authors conduct a systematic critical analysis of the limitations of econometrics and DSGE models as research tools in modern economic science under conditions of structural instability and agent heterogeneity. The paper presents the mathematical architecture of an agent-based computing system, including network structures of interactions, and conducts a comparative analysis of ABM, econometrics, and mathematical modeling. The authors substantiate the conclusion that ABM is not an alternative, but rather a necessary complement to traditional methods, allowing for the modeling of emergent macroeffects based on the microbehavior of agents. Particular attention is given to the prospects of methodological triangulation, combining econometric verification, analytical models, and simulation experiments for analyzing complex economic systems. In a comparative table and a separate section, the authors provide a detailed comparison of three research tools in modern economic science: econometrics, mathematical modeling, and agent-based modeling. Finally, the authors conclude that agent-based modeling, with its high flexibility and realism, is an effective method for scenario analysis and studying complex economic systems with multiple heterogeneous agents. However, it requires careful interpretation and triangulation of modeling results, taking into account the significant limitations and characteristics of agent-based modeling as a research tool.

Keywords: *agent-based modeling, econometric analysis, economic methodology, DSGE models, critical analysis, comparison of research tools in economic science.*
JEL: B25, C63, B41, C52.