

Устойчивость и безопасность зеленых финансов с позиции многоагентных игр

Мария Викторовна Сигова

E-mail: ibispb@ibispb.ru, ORCID: 0000-0003-1044-7706

АНО ВО «МБИ имени Анатолия Собчака»,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Игорь Константинович Ключников

E-mail: igorkl@list.ru, ORCID: 0000-0002-6132-6632

АНО ВО «МБИ имени Анатолия Собчака»,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Олег Игоревич Ключников

E-mail: okey003@mail.ru, ORCID: 0009-0002-9128-0994

АНО ВО «МБИ имени Анатолия Собчака»,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Аннотация

Зеленые финансы повышают инновационный потенциал зеленой трансформации, помогают решать проблемы, связанные с изменением климата, экологическим кризисом и энергетической безопасностью. Для зеленых финансов важно добиться устойчивого и сбалансированного развития, которое позволит повысить уровень безопасности как финансирования, так и многих зависимых от него процессов в реальном секторе экономики.

Целью исследования является разработка подходов к онтологическому конструированию зеленых финансов и многоагентному моделированию поведения участников зеленых финансов с учетом устойчивого и безопасного их взаимодействия.

Задачи. Уточнить понятийный аппарат зеленых финансов и связанных с ним сфер. Рассмотреть «работу» многоагентной модели при анализе поведения основных участников зеленого финансирования, проследить перспективы их воздействия на устойчивость и безопасность финансового рынка. На базе конструирования онтологии и агентно-ориентированного подхода к нелинейным взаимодействиям зеленого финансового процесса рассмотреть механизм построения цепочек основных рыночных участников.

Методологической базой исследования служат общенаучные методы исследования (анализ, синтез, индукция, дедукция, логика), а также эволюционная динамика и агентно-ориентированный подход к анализу финансовых рынков. Проводится сравнительный анализ работ различных авторов и интерпретация теоретических положений смежных сфер знаний к финансам и анализу устойчивого и безопасного их развития.

Результаты. Определены основные подходы к разработке онтологии зеленых финансов как части системы онтологии финансов и многоагентному моделированию финансовых взаимодействий в направлении их устойчивости и безопасности. В рамках предложенной модели установлено, что критерием эффективности применяемой стратегии служит ее положительное воздействие на экономику, окружающую среду и социальную сферу. Поддержание данного состояния вместе с сохранением объема используемых ресурсов происходит с помощью оптимизации. Выбранный подход соответствует концепции устойчивого развития и безопасного функционирования рассматриваемых систем.

Ключевые слова: зеленые финансы, онтология, многоагентное моделирование, устойчивость, безопасность

JEL: F01, B41, F30, F37, Q50, Q56

Для цитирования: Сигова М. В., Ключников И. К., Ключников О. И. Устойчивость и безопасность зеленых финансов с позиции многоагентных игр // Финансовый журнал. 2024. Т. 16. № 1. С. 78–95. <https://doi.org/10.31107/2075-1990-2024-1-78-95>.

© Сигова М. В., Ключников И. К., Ключников О. И., 2024

<https://doi.org/10.31107/2075-1990-2024-1-78-95>

Sustainability and Security of Green Finance from the Multi-agent Games Perspective

Maria V. Sigova¹, Igor K. Klyuchnikov², Oleg I. Klyuchnikov³

^{1, 2, 3} *Autonomus Nonprofit Organization of Higher Education "International Banking Institute named after Anatoliy Sobchak", St. Petersburg, Russian Federation*

¹ *ibispb@ibispb.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1044-7706>*

² *igorkl@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6132-6632>*

³ *okey003@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-9128-0994>*

Abstract

Green finance increases the innovation potential of green transformation, helps to address climate change, the environmental crisis and energy security. It is important for green finance to achieve sustainable and balanced development, which will increase the security of both finance itself and many processes in the real economy that depend on it.

The purpose of this study was to develop approaches to the ontological design of green finance and multi-agent modeling of the behavior of green finance actors, considering their sustainable and safe interaction. To achieve this goal it was necessary to clarify the conceptual apparatus of green finance and related areas; to characterize the "work" of the multi-agent model in the analysis of the behavior of the main green finance actors and to trace the prospects for their impact on the stability and security of the financial market; and finally, based on ontology construction and agent-based approach to nonlinear interactions in the green financial process, to determine the mechanism of building chains of the main market participants.

The methodological basis of the study consists of general scientific research methods (analysis, synthesis, induction, deduction, logic), as well as evolutionary dynamics and agent-based approach to the analysis of financial markets. A comparative analysis of the works of various authors and the interpretation of theoretical provisions in related areas of knowledge about finance, as well as the analysis of their sustainable and safe development were carried out.

As a result of the study, the authors identified the main approaches to the design of financial ontology and multi-agent modeling of financial interactions in the direction of determining their sustainable and safe development. The proposed model establishes that the criterion of the effectiveness of the applied strategy is the satisfaction with the state of financial impact on the economy, environment, and social sphere. Maintaining this state, along with saving the amount of resources used, is done through optimization. The chosen approach corresponds to the concept of sustainable development and safe functioning of the systems under consideration.

Keywords: *green finance, ontology, multi-agent modeling, sustainability, security*

JEL: F01, B41, F30, F37, Q50, Q56

For citation: Sigova M.V., Klyuchnikov I.K., Klyuchnikov O.I. (2024). Sustainability and Security of Green Finance from the Multi-agent Games Perspective. *Financial Journal*, 16 (1), 78–95 (In Russ.). <https://doi.org/10.31107/2075-1990-2024-1-78-95>.

© Sigova M.V., Klyuchnikov I.K., Klyuchnikov O.I., 2024

ВВЕДЕНИЕ

Базовым условием устойчивости экологических, социальных и экономических систем является их безопасное функционирование. Каждая система имеет свою траекторию движения. В ходе длительной дискуссии решался вопрос о возможных направлениях их взаимодействия [Gurria, 2019]. Отношение экономической науки к экологическим, социальным и экономическим сферам менялось — от акцента на экономику и расточительное использование природных ресурсов до учета социальной и экологической сфер с переходом к более полной их интеграции в рамках зеленой экономики и зеленых финансов. В настоящее время такой подход нашел наибольшее отражение в концепции устойчивого развития [Lejano, 2019]. В целом были найдены условия, которые позволяют совместить экономический рост с сохранением окружающей среды и сокращением выбросов парниковых газов (ПГ) [Xiong et al., 2023]. Зеленые финансы включились в систему обслуживания не только экономической, но и социальной и природной сфер и во многом стали определять оборот капитала между четырьмя основными участниками (агентами) — правительством, финансовыми учреждениями, предприятиями и потребителями в ходе реализации зеленых и устойчивых целей.

Зеленое финансирование играет решающую роль в действиях по достижению нулевого уровня выбросов и в борьбе с изменением климата. В ходе постпандемического восстановления экономики и геоэкономических изменений зеленые финансы предоставляют огромные возможности для перехода к «зеленому», устойчивому и более безопасному будущему. Значимость зеленых финансов с количественной стороны частично определяется оценкой размера инвестиций, необходимых для достижения нулевого уровня выбросов. В декларации COP27 определено, что до 2050 г. на эти цели ежегодно потребуются выделять порядка 4–6 трлн долл.¹ В 2022 г. Банк России поставил задачу (задача 4 в национальной повестке устойчивого развития) по расширению «вклада финансового рынка в достижение целей устойчивого развития и ESG-трансформации российского бизнеса». В результате были определены основные задачи зеленой трансформации бизнеса и участия в данном процессе финансовой системы². Банк России, Минэкономразвития, ВТБ и другие организации и ведомства уделяют значительное внимание развитию зеленого финансирования в нашей стране. В частности, разработаны условия развития рынка зеленых облигаций, зеленой ипотеки, а также адаптации участников финансового рынка к климатическим рискам³.

Статья в первую очередь способствует восполнению пробела, связанного с определением неоднородности интересов субъектов зеленого финансирования. Эволюционные поведенческие игры в области зеленых финансов между правительством, предприятиями, финансовыми учреждениями и потребителями позволяют определить состояние всей системы, проследить поведение ее участников, а также рассмотреть возможные сценарии ее развития. С помощью такого подхода можно рассматривать игровые варианты улучшения экологической среды и разрабатывать условия устойчивого и безопасного социально-экономического развития.

Проблема многоагентной поддержки устойчивости и безопасности зеленых финансовых инноваций носит многомерный характер. Высокая динамика инновационно ориентированной зеленой перестройки, с одной стороны, и относительная инертность природной

¹ COP27 Reaches Breakthrough Agreement on New “Loss and Damage” Fund for Vulnerable Countries / UN Climate Change, 20 November 2022. URL: <https://unfccc.int/news/cop27-reaches-breakthrough-agreement-on-new-loss-and-damage-fund-for-vulnerable-countries>.

² Основные направления развития финансового рынка Российской Федерации на 2023 год и период 2024 и 2025 годов / Банк России, 2022. С. 28.

³ Развитие рынка финансирования «зеленых» проектов: роль Банка России / Банк России, 4 февраля 2021. URL: <https://www.cbr.ru/press/event/?id=9549>.

среды, а также традиционных социально-экономической и финансовой систем в ответ на управление инновациями, с другой стороны, повышают значимость задач, связанных с обеспечением устойчивости и безопасности новых рынков. Важную роль в решении данных задач играют современные методы и технологии моделирования.

Большинство традиционных моделей рассматривают общую структуру рынка или отдельный его сегмент. Они ориентированы на характеристику явления в целом и не обращают внимание на поведение участников. Агентные же модели позволяют анализировать поведение рыночных участников и раскрывать макроструктуру рынка через микроповедение его агентов, то есть проводить анализ снизу вверх. При этом агентное моделирование может служить своеобразным игровым пространством, на котором наглядно можно наблюдать за реакцией каждого участника на внешние воздействия. Например, следить за воздействием инвестиций на окружающую среду или регуляторов на рыночных участников и тем самым представлять возможные направления развития системы «человек — природа» через целевые инвестиции или состояние финансового рынка.

В статье предлагаются архитектура, принципы онтологического конструирования и современные подходы к многоагентному моделированию поведения основных участников зеленых финансов с акцентом на устойчивое и безопасное их взаимодействие. Механизм построения цепочек связей и включения в систему основных рыночных участников основан на применении агентно-ориентированного подхода к нелинейным взаимодействиям зеленого финансового процесса.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И ИССЛЕДОВАНИЙ

Важной стороной зеленых финансов как концепции является их потенциал для устойчивого и безопасного развития финансовой системы. Такая позиция, по мнению исследователей, одновременно выступает базой для перехода к эффективному распределению ресурсов и устойчивому социально-экономическому и природному развитию⁴. Однако продолжается дискуссия о противоречивости целей развития — рост или сохранение природы и экологическое равновесие [Collste et al., 2023; Andersen, Hulgaard, 2023]. Тем не менее становится общепризнанным, что в ходе развития экономики можно защищать и улучшать окружающую среду. Во многих работах исследуется роль зеленого финансового рынка в повышении эффективности распределения экологических ресурсов и ускорении перехода к новой модели развития [Ключников, 2021]. Ряд исследователей обращают внимание на проблемы, которые представляют собой теоретическую основу для распределения позиций агентов и их обучения [Bignold et al., 2023]. При этом выделяются следующие основные вопросы, которые сдерживают развитие зеленых финансов и, соответственно, моделирования поведения участников в данной системе: 1) неоднородность стандарта зеленых финансовых продуктов и недостаточная четкость определений зеленого бизнеса [Huang, Li, 2017], а также разнородность интересов участников [Huang et al., 2022]; 2) относительно небольшой опыт зеленого проектирования и высокая стоимость разработки проектов [Nasereddin, Price, 2021]; 3) недостаточная проработка связей между зелеными финансами, экономическим ростом и выбросами парниковых газов [Ma et al., 2023]; 4) недооценка влияния таких внешних факторов, как, например, пандемия коронавируса и геоэкономические изменения, на поведение модели и ее агентов [Молчанова, Ключников, 2020].

Имеются обзоры, в которых рассматриваются различные аспекты устойчивого [Zeng et al., 2023] и безопасного развития многоагентных систем [Wen et al., 2023]. Также анализируются многоагентные системы с глубоким обучением с позиции теории игр

⁴ *What is green finance and why is it important?* / World Economic Forum, Nov. 9, 2020. URL: <https://www.weforum.org/agenda/2020/11/what-is-green-finance/>.

[Ízgi et al., 2023], эволюционной динамики [Bloembergen et al., 2015] и эволюционной теории игр.

Предлагаются различные обзоры, посвященные общему развитию агентного моделирования и приложения его к разным сферам деятельности и академическим исследованиям [Кузнецов, 2018; Городецкий и др., 2017]. В то же время отсутствуют исследования, в которых устойчивость и безопасность поведения участников зеленых финансов рассматривается в многоагентных системах с игровых позиций. В отечественной литературе, насколько нам известно, нет также исследований, связанных с приложением агентных моделей к анализу зеленого финансирования. Тем более отсутствуют исследования, в которых устойчивость и безопасность поведения участников зеленых финансов рассматривается в многоагентных системах с игровых позиций. Вместе с тем данный анализ позволит уточнить многие аспекты развития устойчивости зеленых финансов.

ОНТОЛОГИЧЕСКОЕ ВОСПРИЯТИЕ ЗЕЛЕННЫХ ФИНАНСОВ

Важным средством фиксации и улучшения связей между агентами (как реальными, так и агентами в модели) выступают онтологии. В последнее время во многом под воздействием цифровизации финансов термин «онтология» из языка программирования активно перемещается в сферу зеленых финансов [Lehman, Mortensen, 2021], в которой постоянно повышается уровень стандартизации и структуризации, что привлекает инвесторов и реципиентов инвестиций, а также облегчает регулирование.

Систему финансовых онтологий можно представить в виде аналитических абстракций существенных связей в финансовой сфере. Фиксация причинно-следственных связей позволяет структурировать информацию. Несмотря на молодость, зеленое финансирование структурировано. Московская биржа адаптировала международные стандарты зеленых и устойчивых облигаций для внутреннего оборота. Во многих странах, включая Россию, разработана и широко применяется зеленая таксономия. Следующим шагом в структурировании финансов может стать зеленая онтология, которая позволит ускорить переход к масштабным интеллектуальным модельным конструкциям.

Примерами финансовых онтологий могут служить онтология для электронного банкинга [Montes et al., 2005] и бизнес-онтология финансовой отрасли (FIBO) [Bennett, 2013] — набор формальных моделей, которые определяют однозначно общее значение для концепций финансовой отрасли. Принципы FIBO применяются для решения различных задач в финансовом секторе России.

Построенные на основе онтологий графы финансовых знаний помогают нейронным моделям лучше прогнозировать цены на акции [Kertkeidkachorn N. et al., 2023]. Интеллектуальные онтологии используются для классификации настроений, субъективности и других эмоциональных состояний в онлайн-тексте и речи. Подключение онтологий в автоматизированные модельные конструкции повышает эффективность процедур поддержки принятия решений финансовых учреждений [Sharma et al., 2023].

В данной статье представлен ряд подходов, которые можно применять при конструировании системы онтологий, необходимых для моделирования поведения агентов в ходе зеленого финансирования. При этом делается акцент на принципах проектирования таких онтологий. Кроме того, предлагаются подходы к оценке онтологии зеленых финансов, что способствует улучшению понимания поведения агентов. В отечественной и зарубежной литературе данные вопросы в постановочном плане только начинают подниматься. Конструирование зеленой финансовой онтологии опирается на Принципы зеленых облигаций, зеленых кредитов, зеленого страхования, а также на ESG-принципы и зеленые таксономии, которые классифицируют основные действия, устанавливают критерии, определяют связи и зависимости в рассматриваемой сфере. Однако данные конструкции и классификации носят более частный характер по отношению к онтологии зеленых

финансов. Кроме того, они не учитывают связи и зависимости, которые воздействуют на поведение рыночных участников. Тем не менее Принципы и таксономии играют важную роль в процессе унификации и стандартизации зеленых финансовых процессов.

Онтологии являются ключевым компонентом семантических технологий. Они могут служить основой игрового моделирования поведения участников зеленого финансирования — с помощью онтологии можно фиксировать логические и концептуальные отношения между участниками зеленого финансирования.

Вопрос четкой фиксации зеленого финансирования не является второстепенным [Berrow et al., 2019]. Напротив, он занимает центральное место в дебатах о будущем финансового рынка [Lazaro et al., 2023]. В связи с этим прежде необходимо провести оценку подходов, связанных с понятием «зеленые финансы». Отсутствие четкости определения не только затрудняет параметризацию явления и анализ его эволюции, но и повышает риски, связанные с внедрением новых устойчивых финансовых процедур и продуктов. Для решения проблемы четкости понятий необходимо рассмотреть основные подходы, используемые в финансовой сфере для определения того, какие секторы имеют право относиться к зеленому. Следовательно, обсуждаются основные принципы, принятые для обозначения финансовой безопасности в зеленой сфере в отношении, например, облигаций, кредитов и прямых инвестиций. Для целей моделирования особенно важно определить функции агентов, пределы, возможности и перспективы их развития.

Определение рабочего механизма зеленого финансового рынка позволяет обозначить параметры, сделать соответствующие предположения и рассмотреть эволюцию связей, основанных на взаимодействии между правительствами, предприятиями, финансовыми учреждениями и потребителями. Установлено, что зеленые финансы оказывают значительное влияние на устойчивое развитие [Ключников и др., 2022]. Многие исследователи полагают, что они являются ключевым звеном устойчивости и гармонизации взаимодействия экономических, социальных и экологических процессов [Молчанова и др., 2021].

В последние годы экологические проблемы становятся узким местом для дальнейшего развития экономики [Fraccastoro et al., 2023]. Тем не менее во многих странах развитие зеленых финансов стало необратимой тенденцией экономических преобразований [Терешина, Онищенко, 2022]. В нашей стране зеленый переход экономики и финансов является одним из приоритетных направлений развития⁵.

Основываясь на результатах многих исследований [Berrow et al., 2019; Ozili, 2022], исходя из целей настоящей работы, зеленые финансы можно представить как вид финансовой деятельности, направленной на улучшение состояния окружающей среды, повышение эффективности использования ресурсов и борьбу с изменением климата с учетом социально-экономического развития. Эффективность использования ресурсов может способствовать не только развитию зеленых тенденций в финансовой индустрии, но и финансовым инновациям. Тем самым формируются условия для изменения ориентации инвесторов (а в дальнейшем и производства), что, в свою очередь, ускоряет переход к зеленому потреблению. Кроме того, зеленое финансирование препятствует деградации окружающей среды, что непосредственно связано с повышением уровня безопасного функционирования хозяйственного комплекса страны.

Многие международные организации принимают определение зеленого финансирования, предложенное Линденбергом, согласно которому оно включает финансовые инвестиции, направляемые в проекты и инициативы в области устойчивого развития, экологические продукты и политику, способствующие развитию более устойчивой экономики [Lindenberg, 2014]. С учетом частоты использования в западной литературе можно

⁵ Данилова Е., Морозов М., Юдина Т. Зеленый переход: подтверждение приоритета // ЭКОНС. 2022. 12 июля. URL: <https://econs.online/articles/opinions/zeleny-perekhod-podtverzhdenie-prioriteta>.

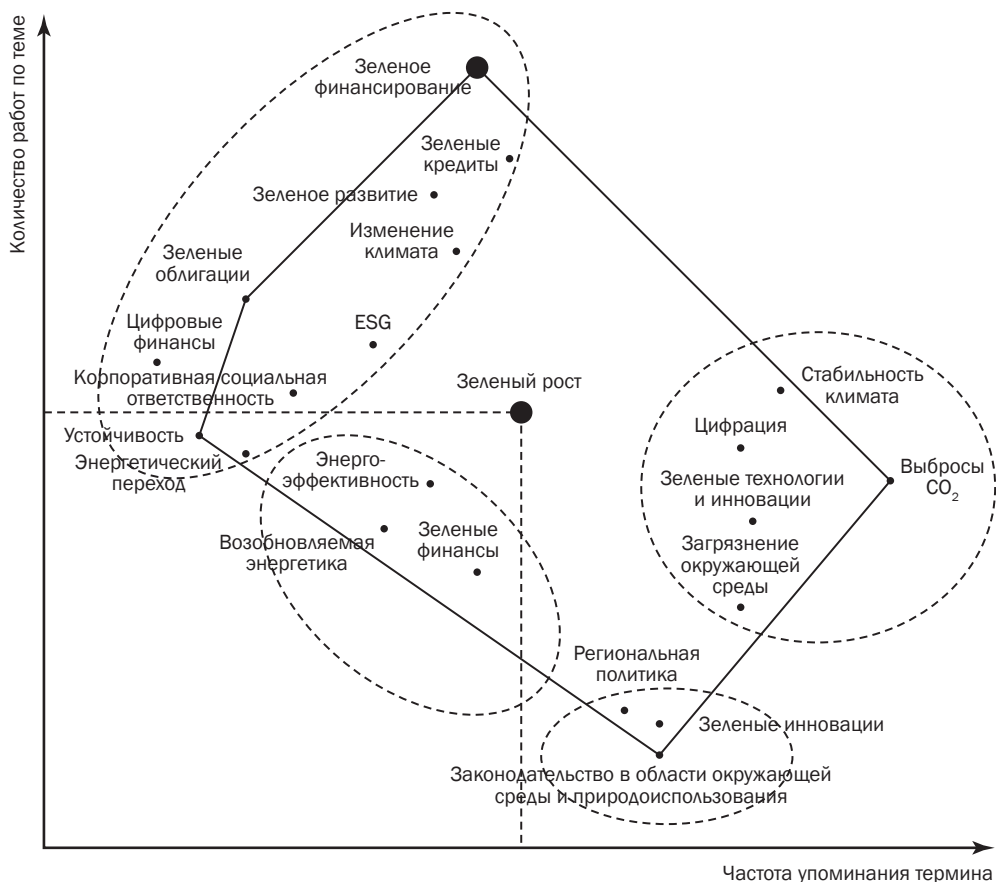
выделить следующие подходы к зеленым финансам, зеленому финансированию и их соотношению с другими связанными понятиями (рис. 1).

Зеленое финансирование обеспечивает зеленый рост, который представляет собой новаторский подход к социально-экономическому развитию с учетом экологической устойчивости и природного равновесия. Основные темы, связанные с зелеными финансами (рис. 1), можно сгруппировать в четыре кластера с учетом как сходств отдельных понятий в рамках кластера, так и различий между ними:

- первый кластер включает «энергoeffективность» и «возобновляемые источники энергии», а также «финансы» и «инвестиции», обеспечивающие зеленый переход;
- второй кластер складывается вокруг климатического финансирования и включает «зеленые облигации», «зеленый кредит» и «банки», а также целевые инвестиции, которые в основном связаны с ESG-практикой;
- в третий кластер входят «загрязнение окружающей среды» — выбросы углерода и зеленые технологии для борьбы с выбросами;
- четвертый кластер включает «политику» и «регионы», прямо или косвенно фокусирует внимание на культурно-политических вопросах финансового развития, связанного с построением политики и механизмов зеленого финансирования, а также культурной среды, которая может привести к быстрому распространению новой финансовой практики.

Рисунок 1

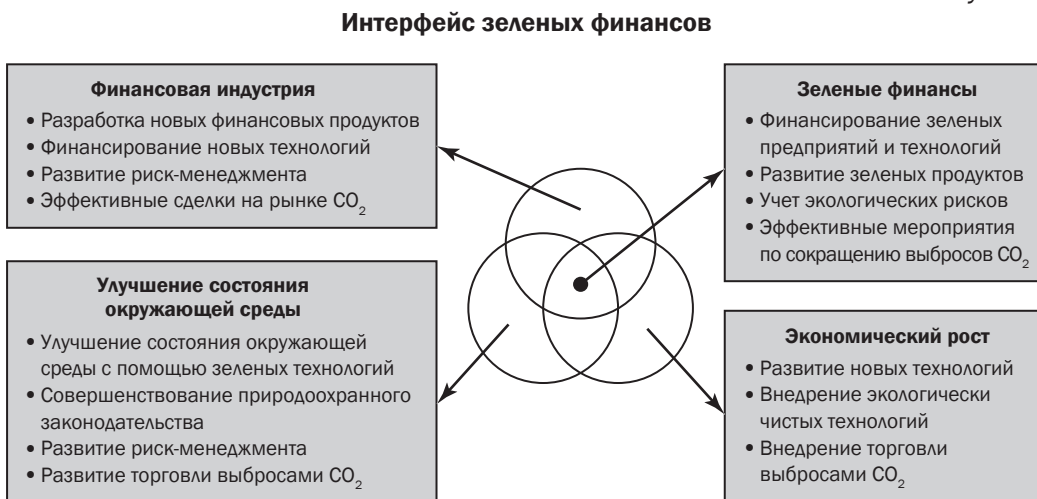
Факторный анализ с учетом частоты использования в западной литературе ключевых слов



Источник: рисунок авторов на основе [Lazaro et al., 2023]. <https://doi.org/10.1016/j.jclimf.2023.100009>.

Зеленое финансирование является основной частью низкоуглеродного зеленого роста, поскольку оно связывает финансовую индустрию, улучшение состояния окружающей среды и экономический рост (рис. 2).

Рисунок 2



Источник: рисунок авторов на основе идеи [Noh, 2019]. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8710-3_16-1.

Зеленые финансы заполняют своеобразное недостающее звено между «знанием» и «действием» при переходе к зеленой экономике. Дело в том, что в оборот зеленого рынка вошли многие активы, ранее не имевшие стоимостных характеристик. В результате произошло значительное расширение и усложнение системы «затраты — прибыль». Многие процессы, связанные с изменением климата, получают стоимостные оценки, что позволяет налаживать управление ими в соответствии с рыночными законами. Однако бизнес-модели зеленой экономики могут быть непроверенными или нетрадиционными. Поэтому традиционным финансовым институтам сложно или коммерчески невыгодно финансировать многие предложения зеленой экономики. Тем самым зеленые финансы можно представить в виде финансового браузера, направляющего развитие зеленой экономики.

Зеленое финансирование охватывает множество секторов и продуктов и действует в трех системах — экономической, социальной и природной (рис. 3). Три категории зеленых финансов: финансирование инфраструктуры, финансовое обслуживание промышленности, сельского хозяйства и домашних хозяйств и оборот финансовых рынков.

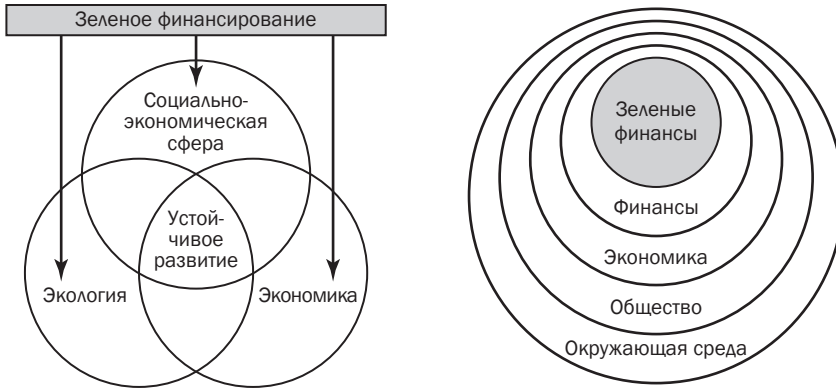
Моделирование поведения участников зеленого финансирования позволяет выделить два типа их целей — цели процесса и окончательные цели. Цели процесса определяют создание условий, необходимых для изменения поведения агентов в необходимом направлении. К процессуальным целям относится установление контактов, создание не угрожающей и безопасной для реализации конечной цели среды, наличие и передача точного сигнала и необходимого капитала, то есть обстоятельства, связанные с обеспечением устойчивости всей системы. Эти цели применимы ко всем отношениям между участниками зеленого финансирования. Они рассматриваются как универсальные и формирующие групповое поведение агентов. Тем самым процессуальные цели относятся к основам моделирования.

В отличие от процессуальных целей конечные цели индивидуальны — они различны для всех агентов. Конечные цели напрямую связаны с изменениями, которые агент должен внести в результате процесса взаимодействий. Решение проблемы каждого агента

совпадает с общими целями устойчивого развития. Моделирование позволяет оптимизировать поведение агентов и перейти к формулированию конечных целей, которые должны быть общими, чтобы агенты вместе двигались к их достижению.

Рисунок 3

Социально-экономический и экологический концепт с зеленым финансированием и узлом устойчивости



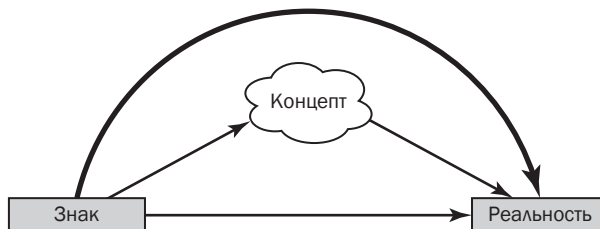
Источник: рисунок авторов.

При моделировании для оценки качества моделей и сравнения различных связей и зависимостей также используются метрики. Интуитивно понятной и очевидной является метрика точности предложенных взаимодействий; метрика полноты связей характеризует учет как можно большего круга связей и зависимостей, которые могут повлиять на поведение агента; метрика реакции агента на действия других агентов позволяет определить возможные уровни взаимодействия между агентами.

Все агенты зеленого финансирования при любом их месте в онтологии оказываются в коммуникативной ситуации, иллюстрируемой с помощью треугольника значений (рис. 4), в котором онтологическая модель зеленого финансирования складывается в результате познания финансового рынка, его регулирования и взаимодействия с участниками и конечными потребителями. Треугольник значений можно расширить за счет дополнительных узлов, которые уточняют соответствующие процессы. На рис. 4 переход концепта от знака к реальности проиллюстрирован нестабильной стрелкой, что подчеркивает ограничения возможных отношений между намерением, например, инвестора и узнаванием этого намерения предпринимателем или регулятором, а при оценке поведения государства — интерпретацией регулирующих воздействий рынком (своеобразная референция).

Рисунок 4

Семиотический треугольник зеленых финансов



Источник: рисунок авторов на основе идеи [Guarino et al., 2009]. https://doi.org/10.1007/978-3-540-92673-3_0.

Воздействие финансовых конструкций на реальные процессы во многом определяется ментальным процессом и поэтому является косвенным и интерпретируемым в зависимости от рыночной среды и состояния агента. При формировании зеленой финансовой концепции новый концепт ведет себя как функция, определяемая реальным рыночным контекстом. В модели между знаком, понятием и реальным рынком могут быть разные уровни соответствия и силы взаимодействия. В отдельных коммуникативных обстоятельствах использование знаков может формировать ошибочные концепции и представлять иные, чем предполагалось, действия и рыночные процессы. Эта проблема еще более усугубляется, если агенты обмениваются сообщениями, в которых термины не имеют заданного, четкого и однозначно понимаемого всеми значения. В идеале необходима ситуация, когда сообщение становится совершенно однозначным. Поэтому необходима дальнейшая работа по уточнению и детализации понятий и их связей.

Основная цель зеленой финансовой онтологии заключается в предоставлении широкой картины финансового рынка в разрезе зеленых тенденций, подходящей для различных областей изучения рынка и активного на него влияния. При переходе к моделированию и интернет-пространству зеленая финансовая онтология выводится из области супердомена. Ее можно использовать в механизмах рассуждений, различных программных пакетах и приложениях для решения частных задач, таких как зеленое инвестирование или энергоэффективность, а также сетевых взаимодействий, например, финансового рынка и государственного регулирования.

ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ

Онтологии тесно связаны с существующими методологиями моделирования данных. Они позволяют проводить более четкое и широкое описание, уделяя больше внимания многочисленным связям и зависимостям, а также точности формулировок и логическим ограничениям.

Многоагентная система — это система, созданная из нескольких автономных элементов (агентов), взаимодействующих и реагирующих друг на друга. Многоагентные игры могут использоваться для моделирования множества различных сценариев и взаимодействий. В качестве агентов выбраны такие активные элемент-участники рынка, как государство, финансовые учреждения, предприятия и потребители, которые существуют в реальной экономической и социальной среде.

В многоагентной системе агент представлен алгоритмом, который содержит правила его поведения. Целью модели является моделирование финансовых явлений (деятельности финансовых учреждений, государственного регулирования рынка, привлечения инвестиций предприятиями, спроса потребителей на продукцию) и процессов (сотрудничество и конфликты между участниками). В агентной симуляции можно наблюдать явление, когда модель, основанная на простых правилах, приводит к очень сложной динамике, что позволяет оценить состояние зеленого финансового рынка, а также проследить социально-экономическое и финансовое поведение его агентов. Игровой эволюционный и динамический многоагентный подход к изучению рынка позволяет углубить наше понимание его развития, а также перейти к мониторингу текущего состояния [Turnitsa et al., 2010].

Определения связанных понятий

Появление зеленых финансов — это своего рода финансовая инновация. На первом этапе она подчеркивала участие финансов в решении экологических проблем. В последующем рамки зеленых финансов существенно раздвинулись. В последние годы зеленые финансы — это политика макроуправления, направленная на скоординированное развитие экономической зеленой трансформации и экологической цивилизации [Weins et al., 2023].

На данном этапе зеленые финансы представляют собой, с одной стороны, предложение инновационного финансирования, которое обеспечивает финансовую поддержку предприятий в целях повышения их устойчивости и безопасности, а с другой стороны, спрос на зеленое финансирование.

Предположения

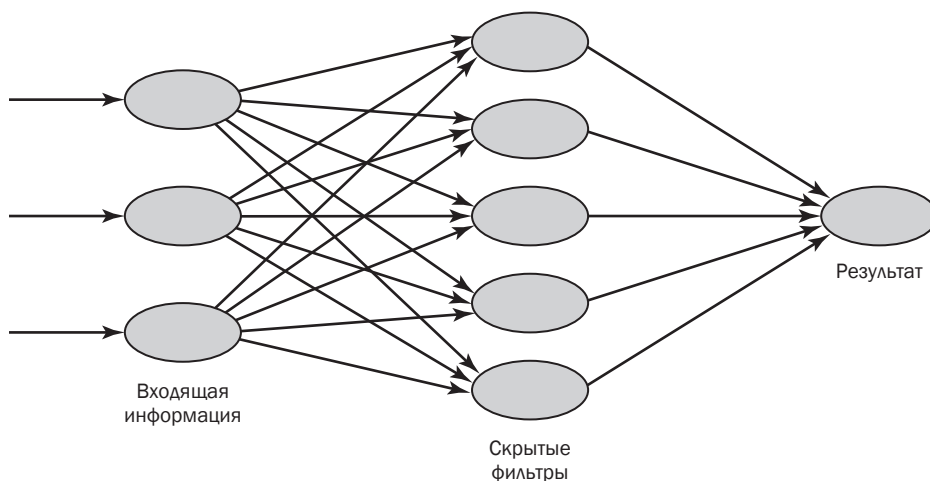
На начальном этапе развития зеленых финансов участникам трудно достичь сбалансированного согласования интересов, а также социальной и экологической ответственности. Поэтому необходим план преобразований, а также оптимизация, в том числе с учетом проб и ошибок. Такой подход подготовки решений позволяет участникам найти консенсус в динамичном игровом процессе и рационализировать выбор. При разработке многоагентной эволюционной игры вводятся следующие гипотезы:

1) Динамика зеленой перестройки и инертность природной, социально-экономической и финансовой систем к изменениям требует разработки конструкций, позволяющих рационализировать устойчивость и безопасность развития новых рынков.

2) В основе рационализации устойчивости и безопасности зеленых финансов находится оптимизация системы. Поиск оптимальных решений осложнен наличием скрытых сигналов (рис. 5). Многоагентная модель позволяет найти наилучшие варианты оптимизации и перенести решения на реальные процессы.

Рисунок 5

Иллюстрация модели влияния скрытых данных на результат



Источник: рисунок авторов.

Макроэкономические показатели являются ключом к успеху в развитии зеленых финансов, и их учет очень важен при поиске консенсуса интересов в многоагентных моделях. В прошлом исследователи использовали традиционные методы регрессии для оценки макроэкономических переменных. Однако появление эффективных методов машинного обучения привело к совершенствованию интеллектуальных механизмов решения проблем.

Как правило, сложные системы более устойчивы. По мере усложнения зеленых финансов и появления различных инструментов и технологий зеленого финансирования, а также регуляторных процедур (саморегулирования и государственных) возрастает устойчивость системы. Одновременно требуются механизмы, регулирующие условия, оптимизирующие данный процесс.

Устойчивость сложной системы, такой как зеленые финансы, при переходе к многоагентной модели решается путем оптимизации интересов участников. В данном случае возникает необходимость перехода от одноцелевой к многоцелевой оптимизации. Сложные системы состоят из множества «частей», демонстрирующих еще более богатое разнообразие отношений. Теория сложности признает, что в любой сложной адаптивной системе существуют «конфликтующие ограничения» между различными возможными комбинациями структурных признаков компонентов. Следовательно, при рассмотрении вопроса о том, как должна быть структурирована система, необходимо оценить влияние изменения одной характеристики на общую функциональность системы, принимая во внимание все остальные характеристики. Таким образом формируется структура сложных систем с адаптационным потенциалом к различным комбинациям системных изменений. Существуют отечественные разработки алгоритмов устойчивости развития систем, которые можно применять к предлагаемой модели [Artamonov et al., 2016].

В процессе принятия решений становится все более важным внедрение зеленой финансовой практики. Предлагается вариант преодоления разрыва между теорией и практикой. Он основан на выявлении пограничных для оценки устойчивости и безопасности вопросов с помощью онтологии и разработки вариантов многоагентного моделирования. Подход к многоагентной модели как функции реального зеленого финансового рынка оказался полезным инструментом для рассмотрения финансовых конструкций как отражения реальности и (или) как способа воздействия на нее, например, в ходе принятия решений.

Предложенный подход свидетельствует о функциональности онтологии и моделирования в отношении процесса принятия решений, а также генерирует новую гипотезу для дальнейшего изучения. Данный подход является целостным решением для улучшения процесса принятия решений в целях устойчивого развития и повышения уровня безопасности на зеленых финансовых рынках.

Техническое решение

Техническая информация о принципах построения многоагентной модели зеленого финансирования включает соответствующую онтологию и существующие связи агентов не только друг с другом, но и с окружающей средой.

$G = \langle N, S, A, \Delta, R, V \rangle$ является стохастической игрой с $N \in \mathbb{N}$ агентами. Окружение состоит из $Z \in \mathbb{N}$ состояний $Z = (S_1, \dots, S_Z)$.

S — множество всех состояний и действий, доступных каждому агенту (правительство, финансовое учреждение, предприятие и потребитель).

A — набор возможных действий, которые может предпринять агент.

В каждом состоянии s у каждого агента i имеется $M \in \mathbb{N}$ выбор из доступных действий $A^i = (A_1^i, \dots, A_M^i)$.

Δ — функция перехода:

- в детерминированной среде действия агента детерминированные — $\Delta: S \times A \rightarrow S [0, 1]$;
- в стохастической среде действия вероятностные — $\Delta: S \times A \rightarrow \text{prob}(N, S)$. Вероятность перехода из текущего состояния s в следующее состояние s' при совместном действии $\underline{a} = (a^1, \dots, a^M) \in A$.

$R: S \times A \rightarrow R^M$ — функция вознаграждения, которая отражает вознаграждение агенту за выполнение действия $a \in A$ в состоянии $s \in S$ [Кабир и др., 2023].

Задача заключается в нахождении оптимальной политики $\pi: S \rightarrow A$, которая максимизирует ожидаемый совокупный результат (V), например доход от инвестиций при сокращении выбросов ПГ или эффективность государственного воздействия на рынок (в качестве основы использована формула из статьи [Orr, Dutta, 2023]):

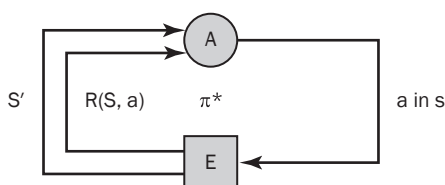
$$V_s^G = R_{\pi(s_G)}(s, a) + \gamma \max_{a \in A} \sum_{s'}^N P(s_{t+a} = s' | s_t, a_t) V(s'), \quad (1)$$

где γ — фактор дисконтирования, отвечающий условиям $0 \leq \gamma \leq 1$ (более низкий коэффициент дисконтирования мотивирует лиц, принимающих решения, выбирать превентивные меры, а не откладывать их на неопределенный срок; более высокий означает затягивание принятия мер); $P(s' | s, a)$ — вероятность перехода в состояние s' из s при выполнении действия a .

Для принятия решений можно использовать алгоритмы итерации значений (например, марковский процесс, который позволяет сделать выбор и учесть мотивацию участников). При поиске лучших условий воздействия, например государства, на окружающую среду опробуются различные варианты. Тем самым агент «изучает» оптимальную политику на основе своего взаимодействия с окружающей средой (рис. 6). Политика, которая максимизирует вышеуказанную функцию, является оптимальной политикой π^* . Предусмотрена возможность выбора различных оптимальных политик.

Рисунок 6

Иллюстрация обучения агента А в среде Е



Источник: [Orr, Dutta, 2023]. <https://doi.org/10.3390/s23073625>.

В зависимости от выбранных условий активного воздействия агентов целью может быть поиск эффективной государственной политики (если во главу угла ставится государство), оптимизация работы финансового посредника, удовлетворение потребностей потребителя или сокращение выбросов ПГ. Таким образом, представлен макет многоагентной модели, с помощью которого можно симулировать как кооперативные, так и антагонистические игры и проводить поиск лучших результатов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный вариант многоагентной поддержки устойчивости и безопасности зеленых финансовых инноваций носит многомерный характер. Разработан подход, при котором высокая динамика инновационно ориентированной зеленой перестройки сравнивается с относительной инертной природной, а также социально-экономической и финансовой системами в ходе управления инновациями.

Развитие зеленого финансирования повышает инновационный потенциал и зеленую трансформацию, помогает участникам финансовой системы справляться с проблемами изменения климата и экологического кризиса. Кроме того, зеленые финансы способны повысить безопасность систем за счет устойчивого и сбалансированного развития. Если ключевая цель традиционной теории финансов сводится к анализу финансовых рынков с помощью математических моделей, предполагающих рациональность инвесторов, то поведенческие финансы пытаются объяснить действия людей на рынках, импортируя теории человеческого поведения из социальных наук. Современные многоагентные модели позволяют использовать оба подхода для анализа финансового рынка. Тем самым повышается многовариантность и точность оценки состояния рынка и его участников.

В статье рассмотрены ключевые проблемы, связанные со структурированием знаний в системе «зеленые финансы», определены требования к их структурированию, предложена

эталонная модель и разработана технология отображения в ней взаимодействий на основе онтологии. Переход к онтологическому построению зеленого финансирования представляет собой новый шаг в понимании и практическом освоении зеленых финансов.

Для реализации поставленных целей были решены три задачи. Во-первых, раскрыт процесс познания, который необходим для концептуализации зеленых финансов. Во-вторых, структурированы знания, уточнен понятийный аппарат, выделены основные связи и зависимости в данной сфере. В-третьих, определены инструменты и технологии, с помощью которых оказывается воздействие на рыночных участников и окружающую среду, и устанавливаются их взаимодействия.

Решение данных задач позволило перейти к агентному моделированию зеленого финансирования. Предложены принципы построения многоагентной модели зеленого финансирования на базе финансовой онтологии. При этом учтены связи между участниками зеленого финансирования, а также предложен алгоритм анализа вариантов воздействия на окружающую среду государственного регулирования. Разработан алгоритм поиска оптимальных результатов политики в области зеленого финансирования. При этом совершен переход от одноцелевой к многоцелевой оптимизации результатов, учитывающей наряду с сокращением выбросов ПГ социальное и экономическое развитие.

В моделировании использованы принципы развития сложных систем и механизмов их адаптации к изменениям. При этом онтологическое конструирование позволяет «упростить» систему зеленого финансирования посредством перехода к построению относительно простых цепочек связей и зависимостей.

Онтология и многоагентное моделирование поведения участников зеленого финансирования представляет собой важный этап в продвижении семантической совместимости и формализации знаний в данной сфере. Обсуждение процесса разработки и качества онтологии зеленого финансирования в целом выходит за рамки данного исследования. Тем не менее в статье указаны некоторые способы, с помощью которых можно перейти к построению онтологии зеленого финансирования.

Одной из основных проблем в онтологическом конструировании является приобретение знаний. В зеленых финансах происходят быстрые инновационные изменения. В оборот вводятся новые знания, уточняются и в ряде случаев меняются прежние представления. Все это требует мониторинга и постоянного обновления онтологических конструкций.

В последующих исследованиях необходимо изучить способы добавления функций в интерфейс для упрощения визуального представления моделей с выделенными узлами и цепочками в соответствии с проблемами, которые стоят перед участниками зеленого финансирования, регуляторами и другими заинтересованными сторонами.

Список источников

1. Городецкий В. И. и др. Современное состояние и перспективы индустриальных применений многоагентных систем // Управление большими системами: сборник трудов. 2017. № 66. С. 94–157.
2. Кабир Л. С., Сигова М. В., Ключников И. К. Финансирование устойчивого развития: новые виды рисков и возможности адаптации участников финансового рынка // Научные труды Вольного экономического общества России. 2023. Т. 242. № 4. С. 195–218. <https://doi.org/10.38197/2072-2060-2023-242-4-195-218>.
3. Ключников И. К., Ключников О. И., Никонова И. А. Воздействие финансов на природу в контексте становления зеленых финансов // Ученые записки Международного банковского института. 2022. № 3 (41). С. 115–132.
4. Ключников О. И. Зеленое финансирование и моделирование поведения его участников // Ученые записки Международного банковского института. 2021. № 2 (36). С. 87–105.
5. Кузнецов А. В. Краткий обзор многоагентных моделей // Управление большими системами: сборник трудов. 2018. № 71. С. 6–44.

6. Молчанова О. А., Ключников О. И. Влияние пандемии COVID-19 на развитие «зеленых» финансов и «зеленой» экономики // Ученые записки Международного банковского института. 2020. № 4 (34). С. 141–160.
7. Молчанова О. А., Ключников О. И., Панарин А. А. Экологические, социальные и корпоративно-управленческие факторы инвестиционного процесса // Ученые записки Международного банковского института. 2021. № 4 (38). С. 87–104.
8. Терешина М. В., Онищенко М. В. Политика развития зеленой экономики: состояние, тенденции, перспективы // Южно-российский журнал социальных наук. 2022. Т. 23. № 1. С. 6–25. <https://doi.org/10.31429/26190567-23-1-6-25>.
9. Andersen A. S., Hulgaard L. Affirmative and critical perspectives on the 2030 Agenda of sustainable development and the sustainable development goals / *Interdisciplinary Perspectives on Socioecological Challenges: Sustainable Transformations Globally and in the EU*. Routledge, 2023. P. 93–114. <https://doi.org/10.4324/9781003319672-6/>.
10. Artamonov V., Vorona-Slivinskaya L., Medvedeva A. The Algorithm of Sustainable Development of Organizations: A Social Aspect // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 165. P. 1192–1196. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.838>.
11. Bennett M. The financial industry business ontology: Best practice for big data // *Journal of Banking Regulation*. 2013. Vol. 14 (3–4). P. 255–268. <https://doi.org/10.1057/jbr.2013.13>.
12. Berrow R., Ciampoli N., Marini V. Defining Green Finance: Existing Standards and Main Challenges. In book: *The Rise of Green Finance in Europe* November 2019. P. 31–51. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22510-0_2.
13. Bignold A., Cruz F., Taylor M. E. et al. A conceptual framework for externally-influenced agents: An assisted reinforcement learning review // *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. 2023. Vol. 14 (4). P. 3621–3644. <https://doi.org/10.1007/s12652-021-03489-y>.
14. Bloembergen D. et al. Evolutionary Dynamics of Multi-Agent Learning: A Survey // *Journal of Artificial Intelligence Research*. 2015. Vol. 53. P. 659–697.
15. Collste D. et al. Participatory pathways to the Sustainable Development Goals: inviting divergent perspectives through a cross-scale system approach // *Environmental Research Communications*. 2023. № 5 (5).
16. Fraccastoro S., Ojala A., Gabrielsson M. Technical, Strategic, and Cultural Bottlenecks of Born-Global-Digital Firms. In: *Proceedings of the 56th Hawaii International Conference on System Sciences, 2023, Jan 3*. URL: <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2023041135896>.
17. Guarino N., Oberle D., Staab S. What Is an Ontology? In: *Handbook on Ontologies*. International Handbooks on Information Systems. Staab S., Studer R. (eds). Springer, 2009. P. 1–17. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-92673-3>.
18. Gurria A. *New Approaches to Environmental, Social and Economic Challenges* / OECD, 2019.
19. Huang J. W., Li Y. H. Green Innovation and Performance: The View of Organizational Capability and Social Reciprocity // *Journal of Business Ethics*. 2017. Vol. 145. P. 309–324.
20. Huang Y. et al. Impacts of green finance on green innovation: a spatial and nonlinear perspective // *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 365. Art. 132548. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132548>.
21. İzgi B. et al. Machine learning driven extended matrix norm method for the solution of large-scale zero-sum matrix games // *Journal of Computational Science*. 2023. Vol. 68. Art. 101997. <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2023.101997>.
22. Kertkeidkachorn N. et al. FinKG: A Core Financial Knowledge Graph for Financial Analysis. In *2023 IEEE 17th International Conference on Semantic Computing (ICSC)*. Feb. 1–3, 2023. P. 90–93. <https://doi.org/10.1109/ICSC56153.2023.00020>.
23. Lazaro L. L. B. et al. What is green finance. after all? Exploring definitions and their implications under the Brazilian biofuel policy (RenovaBio) // *Journal of Climate Finance*. 2023. Vol. 2. Art. 100009. <https://doi.org/10.1016/j.jclimf.2023.100009>.
24. Lejano R. P. *Relationality and Social-Ecological Systems: Going Beyond or Behind Sustainability and Resilience* // *Sustainability*. 2019. Vol. 11 (10). 2760. <https://doi.org/10.3390/su11102760>.
25. Lehman G., Mortensen C. *Finance, Nature and Ontology* // *Topoi*. 2021. Vol. 40. P. 715–724. <https://doi.org/10.1007/s11245-019-09654-5>.
26. Lindenberg N. *Definition of Green Finance* / Deutsches Institut für Entwicklungspolitik. April 2014. <https://www.cbd.int/financial/gcf/definition-greenfinance.pdf>.
27. Ma M. et al. Combining the role of green finance and environmental sustainability on green economic growth: Evidence from G-20 economies // *Renewable Energy*. 2023. Vol. 207. P. 128–136. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.02.046>.
28. Montes M. M. et al. WP10: Case study eBanking D10. 3 *Financial Ontology* / Data, Information, and Process Integration with Semantic Web Services (DIP), 2005.
29. Nasereddin M., Price A. Addressing the capital cost barrier to sustainable construction // *Developments in the Built Environment*. 2021. Vol. 7. Art. 100049. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2021.100049>.
30. Noh H. J. *Financial Strategies to Accelerate Green Growth* / Sachs J., Woo W., Yoshino N. et al. (eds). *Handbook of Green Finance*. Sustainable Development. Singapore: Springer, 2019. 1–26. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8710-3_16-1.

31. Orr J., Dutta A. Multi-agent deep reinforcement learning for multi-robot applications: a survey // *Sensors*. 2023. Vol. 23 (7). № 3625. P. 1–37. <https://doi.org/10.3390/s23073625>.
32. Ozili P. K. Green finance research around the world: a review of literature // *International Journal of Green Economics*. 2022. Vol. 16 (1). P. 1–30. <https://doi.org/10.1504/IJGE.2022.10048432>.
33. Turnitsa C., Padilla J. J., Tolk A. Ontology for modeling and simulation. In: *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference 2010 Dec 5*. IEEE. Baltimore. 2010. P. 643–651. <https://doi.org/10.1109/WSC.2010.5679124>.
34. Sharma N., Soni M., Kumar S. et al. Supervised Machine Learning Method for Ontology-based Financial Decisions in the Stock Market. In: *ACM Transactions on Asian and Low-Resource Language Information Processing*. May 9. 2023. Vol. 22 (5). P. 1–24. <https://doi.org/10.1145/3554733>.
35. Weins N. W., Zhu A. L., Qian J. et al. Ecological Civilization in the making: The ‘construction’ of China’s climate-forestry nexus // *Environmental Sociology*. Jan 2. 2023. Vol. 9 (1). P. 6–19. <https://doi.org/10.1080/23251042.2022.2124623>.
36. Wen G., Wang P., Lv Y. et al. Secure consensus of multi-agent systems under denial-of-service attacks // *Asian Journal of Control*. 2023. Vol. 25 (2). P. 695–709.
37. Xiong X., Xiang W., Wu S. et al. Investigating the coordination between ecological and economic systems in China’s green development process: a place-based interdisciplinary evaluation // *Ecology and Society*. 2023. Vol. 28 (1). № 1543. <https://doi.org/10.5751/ES-13724-280143>.
38. Zeng X., Peng H., Li A. Effective and Stable Role-Based Multi-Agent Collaboration by Structural Information Principles / *arXiv*, 2023. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.00755>.

References

1. Gorodetsky V.I. et al. (2017). Industrial Applications of Multi-Agent Systems: Current State and Prospects. *Upravlenie bol'shimi sistemami: sbornik trudov – Management of Large Systems: collection of works*, 66, 94–157 (In Russ.).
2. Kabir L.S., Sigova M.V., Kliutchnikov I.K. (2023). Sustainable Development Financing: New Risks and Adaptation Opportunities for Financial Market Participants. *Scientific Works of the Free Economic Society of Russia*, 242 (4), 195–218 (In Russ.). <https://doi.org/10.38197/2072-2060-2023-242-4-195-218>.
3. Klyuchnikov I.K., Klyuchnikov O.I., Nikonova I.A. (2022). The Impact of Finance on Nature in the Context of the Development of Green Finance. *Uchenye zapiski Mezhdunarodnogo bankovskogo instituta – Proceedings of the International Banking Institute*, 3 (41), 115–132 (In Russ.).
4. Klyuchnikov O.I. (2021). Green Financing and Modeling the Behavior of Its Participants. *Uchenye zapiski Mezhdunarodnogo bankovskogo instituta – Proceedings of the International Banking Institute*, 2 (36), 87–105 (In Russ.).
5. Kuznetsov A.V. (2018). The Short Review of Multi-agent Models. *Upravlenie bol'shimi sistemami: sbornik trudov – Management of Large Systems: collection of works*, 71, 6–44 (In Russ.).
6. Molchanova O.A., Klyuchnikov O.I. (2020). The Impact of the COVID-19 Pandemic on the Development of Green Finance and Green Economy. *Uchenye zapiski Mezhdunarodnogo bankovskogo instituta – Proceedings of the International Banking Institute*, 4 (34), 141–160 (In Russ.).
7. Molchanova O.A., Klyuchnikov O.I., Panarin A.A. (2021). Ecological, Social and Corporate Management Factors of the Investment Process. *Uchenye zapiski Mezhdunarodnogo bankovskogo instituta – Proceedings of the International Banking Institute*, 4 (38), 87–104 (In Russ.).
8. Tereshina M.V., Onishchenko M.V. (2022). Green Economy Development Policy: Status, Trends, Outlook. *Yuzhno-rossijskij zhurnal social'nyh nauk – South Russian Journal of Social Sciences*, 23 (1), 6–25 (In Russ.). <https://doi.org/10.31429/26190567-23-1-6-25>.
9. Andersen A.S., Hulgaard L. (2023). Affirmative and critical perspectives on the 2030 Agenda of sustainable development and the sustainable development goals. In: *Interdisciplinary Perspectives on Socioecological Challenges: Sustainable Transformations Globally and in the EU*. Routledge, 93–114. <https://doi.org/10.4324/9781003319672-6>.
10. Artamonov V., Vorona-Slivinskaya L., Medvedeva A. (2016). The Algorithm of Sustainable Development of Organizations: A Social Aspect. *Procedia Engineering*, 165, 1192–1196. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.838>.
11. Bennett M. (2013). The financial industry business ontology: Best practice for big data. *Journal of Banking Regulation*, 14 (3–4), 255–268. <https://doi.org/10.1057/jbr.2013.13>.
12. Berrow R., Ciampoli N., Marini V. (2019). Defining Green Finance: Existing Standards and Main Challenges. In book: *The Rise of Green Finance in Europe*, 31–51. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22510-0_2.
13. Bignold A., Cruz F., Taylor M.E. et al. (2023). A conceptual framework for externally-influenced agents: An assisted reinforcement learning review. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 14 (4), 3621–3644. <https://doi.org/10.1007/s12652-021-03489-y>.

14. Bloembergen D. et al. (2015). Evolutionary Dynamics of Multi-Agent Learning: A Survey. *Journal of Artificial Intelligence*, 53, 659–697.
15. Collste D. et al. (2023). Participatory pathways to the Sustainable Development Goals: inviting divergent perspectives through a cross-scale system approach. *Environmental Research Communications*, 5 (5).
16. Fraccastoro S., Ojala A., Gabriellsson M. (2023). Technical, Strategic, and Cultural Bottlenecks of Born-Global-Digital Firms. In: Proceedings of the 56th Hawaii International Conference on System Sciences, Jan 3. Available at: <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2023041135896>.
17. Guarino N., Oberle D., Staab S. What Is an Ontology? In: Handbook on Ontologies. International Handbooks on Information Systems. Staab S., Studer R. (eds). Springer, 2009, 1–17. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-92673-3>.
18. Gurria A. (2019). New Approaches to Environmental, Social and Economic Challenges. OECD, 2019.
19. Huang J.W., Li Y.H. (2017). Green Innovation and Performance: The View of Organizational Capability and Social Reciprocity. *Journal of Business Ethics*, 145, 309–324.
20. Huang Y. et al. (2022). Impacts of green finance on green innovation: a spatial and nonlinear perspective. *Journal of Cleaner Production*, 365, 132548. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132548>.
21. İzgi B. et al. (2023). Machine learning driven extended matrix norm method for the solution of large-scale zero-sum matrix games. *Journal of Computational Science*, 68, 101997. <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2023.101997>.
22. Kertkeidkachorn N. et al. (2023). FinKG: A Core Financial Knowledge Graph for Financial Analysis. In: 2023 IEEE 17th International Conference on Semantic Computing (ICSC), Feb 1, 90–93. doi.org/10.1109/ICSC56153.2023.00020.
23. Lazaro L.L.B. et al. (2023). What is green finance; after all? Exploring definitions and their implications under the Brazilian biofuel policy (RenovaBio). *Journal of Climate Finance*, 2, 100009. <https://doi.org/10.1016/j.jclimf.2023.100009>.
24. Lejano R.P. (2019). Relationality and Social-Ecological Systems: Going Beyond or Behind Sustainability and Resilience. *Sustainability*, 11 (10), 2760. <https://doi.org/10.3390/su11102760>.
25. Lehman G., Mortensen C. (2021). Finance, Nature and Ontology. *Topoi*, 40, 715–724. <https://doi.org/10.1007/s11245-019-09654-5>.
26. Lindenberg N. (2014). Definition of Green Finance. Deutsches Institut für Entwicklungspolitik. <https://www.cbd.int/financial/gcf/definition-greenfinance.pdf>.
27. Ma M. et al. (2023). Combining the role of green finance and environmental sustainability on green economic growth: Evidence from G-20 economies. *Renewable Energy*, 207, 128–136. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.02.046>.
28. Montes M.M. et al. (2005). WP10: Case study eBanking D10. 3 Financial Ontology. Data, Information, and Process Integration with Semantic Web Services (DIP).
29. Nasereddin M., Price A. (2021). Addressing the capital cost barrier to sustainable construction. *Developments in the Built Environment*, 7, 100049. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2021.100049>.
30. Noh H.J. (2019). Financial Strategies to Accelerate Green Growth. In: Sachs J., Woo W., Yoshino N. et al. (eds). Handbook of Green Finance. Sustainable Development. Springer, Singapore. 1–26. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8710-3_16-1.
31. Orr J., Dutta A. (2023). Multi-agent deep reinforcement learning for multi-robot applications: a survey. *Sensors*, 23 (7), 3625, 1–37. <https://doi.org/10.3390/s23073625>.
32. Ozili P.K. (2022). Green finance research around the world: a review of literature. *International Journal of Green Economics*, 16 (1), 1–30. <https://doi.org/10.1504/IJGE.2022.10048432>.
33. Turnitsa C., Padilla J.J., Tolk A. (2010). Ontology for modeling and simulation. In: Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference 2010, Dec 5. IEEE, Baltimore, 643–651. <https://doi.org/10.1109/WSC.2010.5679124>.
34. Sharma N., Soni M., Kumar S. et al. (2023). Supervised Machine Learning Method for Ontology-based Financial Decisions in the Stock Market. In: ACM Transactions on Asian and Low-Resource Language Information Processing, 22 (5), 1–24. <https://doi.org/10.1145/3554733>.
35. Weins N.W., Zhu A.L., Qian J. et al. (2023). Ecological Civilization in the making: The ‘construction’ of China’s climate-forestry nexus. *Environmental Sociology*, 9 (1), 6–19. <https://doi.org/10.1080/23251042.2022.2124623>.
36. Wen G., Wang P., Lv Y. et al. (2023). Secure consensus of multi-agent systems under denial-of-service attacks. *Asian Journal of Control*, 25 (2), 695–709.
37. Xiong X. Xiang W. Wu S. et al. (2023). Investigating the coordination between ecological and economic systems in China’s green development process: a place-based interdisciplinary evaluation. *Ecology and Society*, 28 (1), 1543. <https://doi.org/10.5751/ES-13724-280143>.
38. Zeng X., Peng H., Li A. (2023). Effective and Stable Role-Based Multi-Agent Collaboration by Structural Information Principles. arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.00755>.

Информация об авторах

Мария Викторовна Сигова, доктор экономических наук, профессор, ректор Автономной некоммерческой организации высшего образования «Международный банковский институт имени Анатолия Собчака», г. Санкт-Петербург

Игорь Константинович Ключников, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры банковского бизнеса и инновационных финансовых технологий Автономной некоммерческой организации высшего образования «Международный банковский институт имени Анатолия Собчака», г. Санкт-Петербург

Олег Игоревич Ключников, кандидат экономических наук, доцент кафедры банковского бизнеса и инновационных финансовых технологий Автономной некоммерческой организации высшего образования «Международный банковский институт имени Анатолия Собчака», г. Санкт-Петербург

Information about the authors

Maria V. Sigova, Doctor of Economic Sciences, Professor, Rector of the Autonomus Nonprofit Organization of Higher Education "International Banking Institute named after Anatoliy Sobchak", St. Petersburg

Igor K. Klyuchnikov, Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor of the Department of Banking Business and Innovative Financial Technologies, Autonomus Nonprofit Organization of Higher Education "International Banking Institute named after Anatoliy Sobchak", St. Petersburg

Oleg I. Klyuchnikov, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Banking Business and Innovative Financial Technologies, Autonomus Nonprofit Organization of Higher Education "International Banking Institute named after Anatoliy Sobchak", St. Petersburg

Статья поступила в редакцию 23.05.2023
Одобрена после рецензирования 20.11.2023
Принята к публикации 08.02.2024

The article submitted May 23, 2023
Approved after reviewing November 20, 2023
Accepted for publication February 8, 2024