

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ю. Ю. Петрунин¹

МГУ имени М. В. Ломоносова (Москва, Россия)

УДК: 338.22: 167/168: 004.81

doi: 10.55959/MSU0130-0105-6-59-4-5

ИСКУССТВЕННЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В ЭКОНОМИКЕ: МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТ, МОДЕЛЬ ИЛИ МЕТОДОЛОГИЯ?

Цель данной статьи – оценить сложившееся взаимодействие искусственного интеллекта (ИИ) и экономической науки и обозначить перспективные междисциплинарные направления исследований, способные существенно повлиять на методологию познания экономических явлений. Для достижения этой цели произведена замена размытого и частично даже мистического термина ИИ более научным термином «искусственные нейронные сети» (ИНС). В статье использованы методы научометрического, эпистемологического и сравнительного анализа процессов проникновения ИНС в экономику и другие академические дисциплины.

Раскрыта эпистемологическая общность и различие между ИИ и ИНС. Обосновано смещение в исследовании эпистемологической фокусировки с общего ИИ на ИНС. Систематизировано использование ИНС в экономике: 1) ИНС как математический инструмент решения экономических задач, 2) ИНС как модель экономических явлений, 3) ИНС как методология познания экономических закономерностей. Показано, что взаимодействие экономики с нейронауками может происходить по двум существенно различным направлениям: со стороны нейробиологии, т.е. реальных нервных сетей в живых организмах, или, во-вторых, со стороны теории ИНС. Первое направление ассоциируется с нейроэкономикой, второе пока не артикулировано, но показывает экспоненциальный рост публикаций и связано, прежде всего, с формированием новой экономической парадигмы. Парадигма ИНС в экономике (и не только в экономике) меняет как субъект познания, вводя радикально новые формы/виды доказательства и новые методы исследования, так и объект познания, меняя фокус изучения с индивидуального экономического поведения на коллективное экономическое поведение мега-субъектов.

Ключевые слова: искусственные нейронные сети, экономическая наука, экономическая эпистемология, методология экономики, парадигма, нейроэкономика, искусственный интеллект, научометрия, машинное обучение.

¹ Петрунин Юрий Юрьевич — д.филос.н., профессор, зав. кафедрой математических методов и информационных технологий в управлении, зам. декана по дистанционному обучению и цифровизации научно-образовательного процесса, факультет государственного управления МГУ имени М. В. Ломоносова; e-mail: petrunin@spa.msu.ru, ORCID: 0000-0003-4218-2255.

Цитировать статью: Петрунин, Ю. Ю. (2024). Искусственные нейронные сети в экономике: математический инструмент, модель или методология? *Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика*, 59(4), 92–113. <https://doi.org/10.55959/MSU0130-0105-6-59-4-5>.

Yu. Yu. Petrunin

Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)

JEL: B41, C45, D87

ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN ECONOMICS: MATHEMATICAL TOOL, MODEL OR METHODOLOGY?

The purpose of this article is to assess the current interaction between artificial intelligence (AI) and economic science and to identify promising interdisciplinary areas of research that can significantly influence the methodology of understanding economic phenomena. To achieve this goal, the vague and partly even mystical term AI was replaced with a more scientific term “artificial neural networks” (ANN). The article uses methods of scientometric, epistemological and comparative analysis of the processes of ANN penetration into economics and other academic disciplines. The authors reveal the epistemological commonality and difference between AI and ANN and justify the shift in epistemological focus in research from general AI to ANN. The paper systematizes the use of ANN in economics: 1) ANN as a mathematical tool for solving economic problems; 2) ANN as a model of economic phenomena; 3) ANN as a methodology for understanding economic patterns. It shows the interaction of economics with neurosciences which occurs in two significantly different directions: from neurobiology, i.e. real nerve networks in living organisms, and, on the other hand, from ANN theory. The first direction is associated with neuroeconomics, the second has not yet been articulated, but shows an exponential growth in publications and is associated primarily with forming a new economic paradigm. The ANN paradigm in economics (and not only in economics) changes both the subject of cognition, introducing radically new forms/types of evidence and new research methods, and the object of cognition, changing the focus of study from individual economic behavior to the collective economic behavior of mega-subjects.

Keywords: artificial neural networks, economics, neuroeconomics, artificial intelligence, scientometrics, economic epistemology, machine learning.

To cite this document: Petrunin, Yu. Yu. (2024). Artificial neural networks in economics: mathematical tool, model or methodology? *Lomonosov Economics Journal*, 59(4), 92–113. <https://doi.org/10.55959/MSU0130-0105-6-59-4-5>.

Введение

В прошлом году исполнилось 80 лет исследованиям в области искусственных нейронных сетей (ИНС). Созданная Маккалоком и Питтсом формальная/математическая модель нервной системы (McCulloch, Pitts, 1943) доказала свою эвристическую и прикладную значимость. За про-

шедшие десятилетия теория и практика искусственных нейронных сетей сделала гигантский шаг вперед. Однако если инструментальные приложения искусственных нейронных сетей хорошо известны, то методологическая и эпистемологическая роль теории ИНС в научном познании почти не дискутируется. Достижения применения ИНС в экономике безусловны и практически никем не оспариваются. Однако использование ИНС исключительно в качестве инструмента ограничивает возможности экономической науки. На наш взгляд, *теория искусственных нейронных сетей в экономической науке является недооцененной*. Она может существенно расширить диапазон исследований и глубину понимания экономических закономерностей.

Актуальность данного исследования обосновывается не только очевидным ростом значимости теории ИНС в экономике, но и стремительным возрастанием интереса к методологическим проблемам экономической науки в целом. Этот тренд достаточно ясно отражен в публикационной активности российских экономистов за последние годы (рис. 1).



Рис. 1. Динамика публикаций статей в РИНЦ по методологическим проблемам экономики. Экспоненциальный рост $R^2 = 0,94$.

Источник: рассчитано автором по РИНЦ.

Нельзя не заметить, что лидерами «методологического взрыва» стали ведущие университеты и академические организации РАН (табл. 1).

Для обоснования и раскрытия потенциала и перспектив ИНС в экономике необходимо: 1) вычленить ИНС из исследований в области ИИ как драйверов последнего; 2) систематизировать виды использования ИНС в экономике; 3) демаркировать область нейроэкономики от подхода, связанного с ИНС; 4) наконец, выделить фундаментальные направления использования ИНС, показав, что ИНС не только эффективный инструмент исследования и моделирования экономических явлений, но и, возможно, формирующаяся новая методология экономической науки.

Таблица 1

Ранжирование научных центров по количеству публикаций на тему «Экономическая методология» на начало 2024 г. (первые 15 позиций)

№ п/п	Название организации	Количество статей
1	Финансовый университет при Правительстве РФ	160
2	Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова	100
3	Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ	85
4	Санкт-Петербургский государственный экономический университет	70
5	Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова	54
6	Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского	44
7	Белорусский государственный экономический университет	41
8	Воронежский государственный университет	41
9	Институт экономики РАН	38
10	Государственный университет управления	37
11	Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН	29
12	Институт экономики УрО РАН	27
13	Уральский государственный экономический университет	27
14	Ростовский государственный экономический университет (РИНХ)	26
15	Казанский (Приволжский) федеральный университет	24

Источник: составлено автором по РИНЦ.

Источники и методология

При изучении развития отдельных наук и их взаимодействий в настоящее время широко распространенным является наукометрический подход. Конечно, как любой метод исследования, он имеет и плюсы, и ограничения, поэтому должен применяться максимально корректно и дополняться эпистемологическим подходом.

В последние годы наукометрический подход стал широко использоваться в экономической науке (Бабкин и др., 2023; Берлин, Козырь, 2022; Козырь, 2022; Наукометрический анализ, 2022; Соколов, Чечик, 2022; Теняков, 2019; Третьякова, 2021; Тутов, Измайлов, 2022; Чернова, 2022; Abramo, Oxley, 2021; Rousseau, Rousseau, 2021), в том числе при анализе взаимодействии ИИ и экономики в целом (Bickley et al., 2022; Дайбаге, Попиковский, 2023), и в отдельных экономических науках (Mustak et al., 2021).

В качестве источников исследования для анализа в данной работе использовались международные базы научных публикаций WoS,

Scopus и EconPapers, а также отечественная база научных публикаций НЭБ (РИНЦ). Большинство статистик были собраны в 2022 г. (Scopus, EconPapers) и 2023 г. (РИНЦ).

Для решения поставленных задач также использовались эпистемологические модели философии науки: теория критического рационализма К. Поппера, концепция нормальной науки Т. Куна, концепция научно-исследовательских программ (НИП) И. Лакатоса, теория личностного знания М. Полани, методология экономического индивидуализма и холизма (А. Е. Шаститко, Л. А. Тутов, Д. Г. Егоров), методологии научно-исследовательских программ в экономике (Л. А. Тутов, А. А. Измайлов, М. С. Ковалевская), нейроэкономики и эпистемологии экономики (А. В. Пескова, М. С. Ковалевская) и др. Роль ИНС в развитии методологии и эпистемологии экономической науки также сопоставлялась с современными оценками роли ИНС в методологии естественных наук (физике, астрономии).

Наукометрический анализ

В данной статье в качестве предмета исследования рассматриваются ИНС, а не как обычно принято ИИ. Для этого есть несколько оснований. Во-первых, ИНС появились на 13 лет раньше, чем ИИ (1956 г.) и вся эволюция ИНС неразрывно связана с историей ИИ, даже если смотреть чисто качественно: взлет исследований и популярности в 1960-е гг., «зима ИИ» в 1970-е гг., новый всплеск интереса в 1980-е гг., наконец, революция глубокого обучения и генеративного ИИ прямо связаны с подъемами и упадками теории и практики применения ИНС. Фактически эти две линии исторического развития идут параллельно друг другу (что в дальнейшем тексте будет доказано статистически). Параллелизм эволюции ИИ и ИНС позволяет использовать собранный ранее эмпирический материал об ИИ и для анализа ИНС.

Во-вторых, ИНС легко интегрируются с другими хорошо известными методами/технологиями ИИ: машинным обучением, генетическими алгоритмами и др. Соответственно и количество работ по данным темам высоко коррелирует друг с другом и делает научометрический анализ более достоверным.

Наконец, в-третьих, еще на рубеже 1950–1960-х гг. в области ИИ сформировались и продолжают действовать до настоящего времени два главных подхода или две парадигмы: символная и нейроморфная/коннекционистская. Нельзя не признать, что второй подход/парадигма пока достигли больших результатов. Все это говорит о том, что ИНС является своего рода «нервом», или, по крайне мере, важнейшей частью науки об ИИ.

Преимуществом смещения эпистемологической фокусировки с общего ИИ на ИНС состоит в том, что если термин ИИ очень широк, расплывчат и внутренне противоречив, то термин ИНС представляет собой точно изложенную теорию, с основательным математическим аппаратом, согласо-

ванными образцами интерпретации, хорошо масштабируемую и относительно легко переносимую на широкий круг явлений. Квазинаучные вопросы типа «верите ли вы в ИИ?» или «можно ли создать ИИ?» задаются на протяжении полувека. Аналогичные вопросы про ИНС бессмысленны. Речь может идти только о полезности, эффективности и результативности ИНС, причем не только в вычислительно-инструментальном, но и в методологическом плане.

Для выделения ИНС из предметного поля ИИ и вычисления связи между ними, сравним динамику активности по данным терминам (рис. 2 и 3).

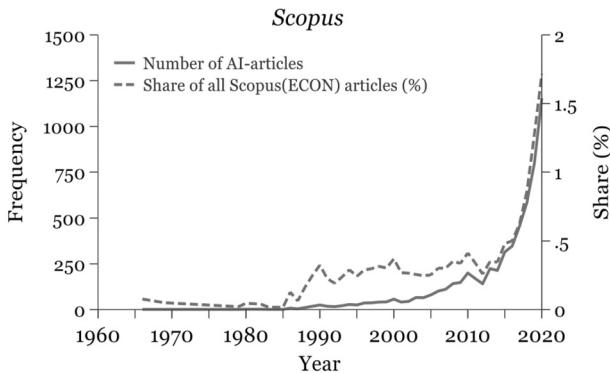


Рис. 2. Динамика количества статей по экономике, связанных с ИИ, в Scopus в абсолютных показателях и в относительных (%) к общему количеству статей по экономике в конкретном году

Источник: (Bickley et al., 2022, p. 2064).

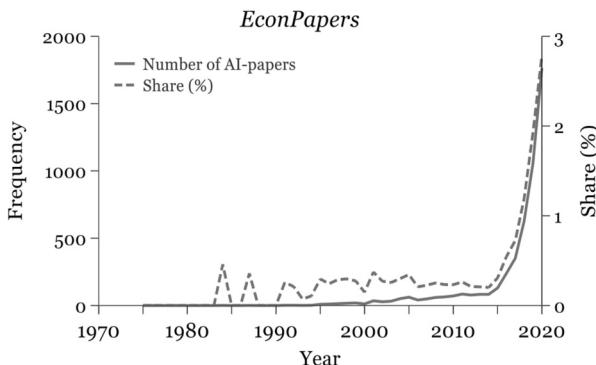


Рис. 3. Динамика количества статей по экономике, связанных с ИИ, в EconPapers в абсолютных показателях и в относительных (%) к общему количеству статей по экономике

Источник: (Bickley et al., 2022, p. 2064).

Как мы видим, динамика публикаций по международным базам Скопус и EconPapers близки — экспоненциальный рост за последние 20 лет, $R^2 > 0,95$. Аналогичные тренды мы видим в РИНЦ (рис. 4), только с меньшим на порядок количеством публикаций и более поздним стартом: первые работы в РФ по теме относятся к 2003 г., в отличие от зарубежных публикаций, где первые из них датируются серединой 1970-х гг. Но это отличие не столь существенно, поскольку наблюдаемый рост публикационной активности и за рубежом, и в нашей стране начался в XXI в. Характер мировых и национальных трендов по теме «ИИ в экономике» сходен.

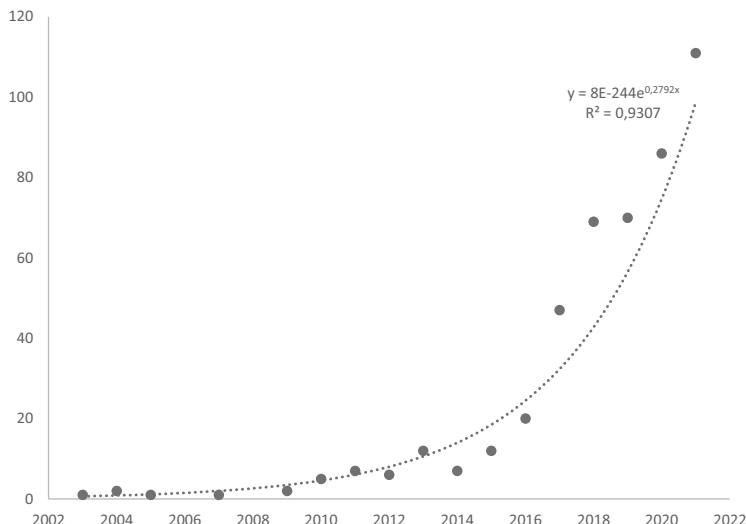


Рис. 4. Динамика количества публикаций по тематике «ИИ в экономике». $R^2 = 0,96$
Источник: рассчитано автором по РИНЦ.

Сравним динамику исследований в области ИИ с термином «искусственные нейронные сети в экономике» (рис. 5).

Как видно на рис. 5, динамика очень похожа на динамику ИИ в экономике, корреляция между ИИ и ИНС $r = 0,89$ при $p < 0,05$. Подобная корреляция ИИ с машинным обучением меньше и $r = 0,76^2$. Обратим внимание, что абсолютное значение публикационной активности в «ИНС в экономике» выше, чем «ИИ в экономике». Это подтверждает ранее высказанное предположение о предпочтительности замены термина ИИ термином ИНС.

Можно ли применение теории ИНС в экономике идентифицировать с нейроэкономикой? Для ответа на этот вопрос сначала проанализируем профиль нейроэкономики и ее связь с ИИ и ИНС, а позже проведем эпистемологический анализ.

² Рассчитано автором.

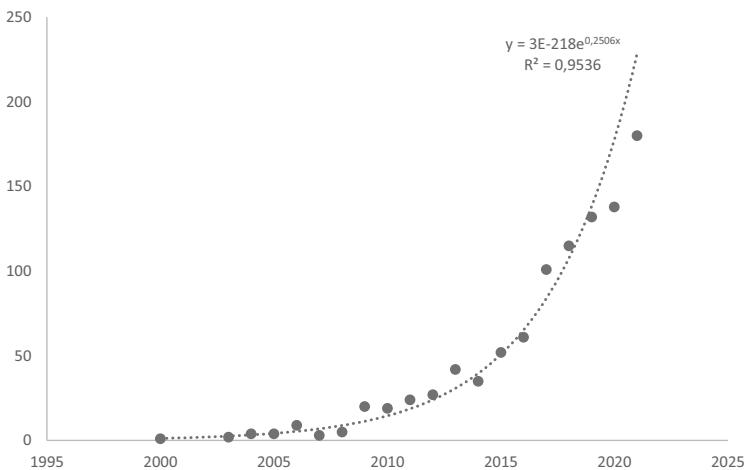


Рис. 5. Динамика количества публикаций по тематике «Искусственные нейронные сети в экономике» по РИНЦ. $R^2=0,96$
Источник: составлено автором на основе РИНЦ.

Если построить динамику публикаций по ключевому слову «нейроэкономика», то она видимо отличается от «ИИ в экономике» и «ИНС в экономике» (рис. 6). Это уже не экспонента. С 2015 г. тренд явно заколебался и пошел на спад.

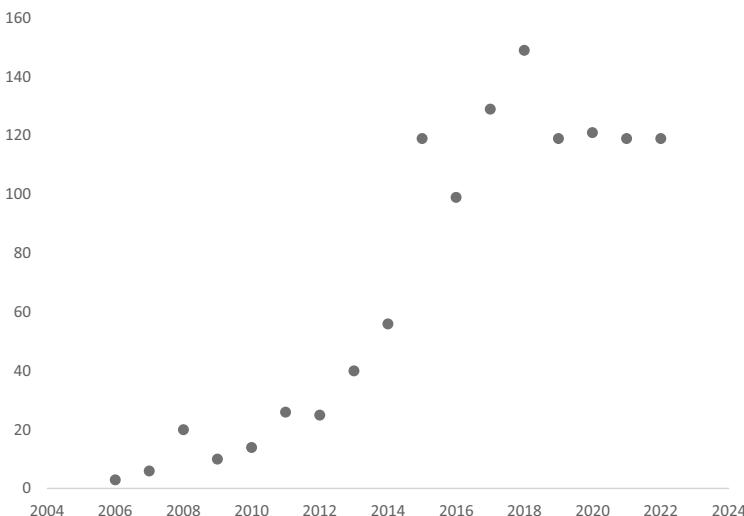


Рис. 6. Количество публикаций по нейроэкономике (на основе РИНЦ)
Источник: построен автором.

Если вычислить корреляции публикационной активности между ИИ в экономике и нейроэкономикой, то она будет равна $r = 0,74$ при уровне статистической значимости $p < 0,05$. Корреляция между публикационной активностью по нейроэкономике и ИНС $r = 0,85$. Следовательно, ИНС наиболее референтно с ИИ.

Если выделить ключевые слова в выборке нейроэкономика, то получим набор, который действительно значимо отличается от ИНС в экономике (рис. 7 и 8). Термин ИИ вообще отсутствует в первой десятке выборки. Наиболее близкими темами к нейроэкономике оказываются нейромаркетинг и поведенческая экономика в целом, а также ее главные темы: принятие решений, управление, рациональность.

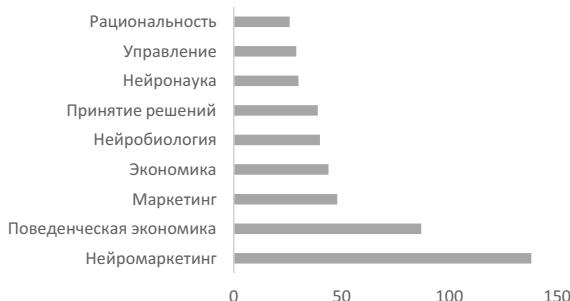


Рис. 7. Распределение (частота) ключевых слов в выборке «нейроэкономика» (без термина «нейроэкономика»)

Источник: построено автором на основе РИНЦ.

Наиболее близкими предметной области «ИНС в экономике» оказываются ИИ, его различные технологии (машинное обучение, нечеткая логика) и решаемые с их помощью задачи (прогнозирование, кластерный анализ, цифровая экономика).



Рис. 8. Распределение ключевых слов в выборке «ИНС в экономике» (без терминов «экономика» и «ИНС/НС»)

Источник: построено автором на основе РИНЦ.

Нейроэкономика изучает естественные нейронные (нервные) сети, их влияние на экономическое поведение. Если учесть, к каким наукам относятся публикации по нейроэкономике и ИНС в экономике, то различие также впечатляет (рис. 9 и 10).



Рис. 9. Распределение публикаций выборки «нейроэкономика» по наукам
Источник: построено автором на основе РИНЦ.

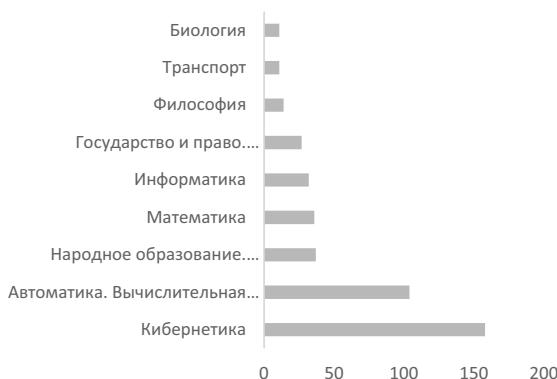


Рис. 10. Распределение публикаций выборки ИНС в экономике по наукам
Источник: построено автором на основе РИНЦ.

Публикации выборки «ИНС в экономике» связаны, в первую очередь, с математическими и кибернетическими дисциплинами.

В нейроэкономике с большим отрывом во влиянии лидируют психология и философия. Как известно, на возникновение нейроэкономики значительное влияние оказали работы психологов (Саймон, 1995; Канеман, Тверски, 2003). Мы видим, что и философов тоже. Обычно там, где появляются философы, зарождается нечто новое в методологии и эпистемологии науки. К анализу этого мы и переходим.

Эпистемологический анализ

Анализ публикаций на конец 2023 г. в РИНЦ (1096 публикаций, из них 683 статьи в журналах, входят в RSCI 63 статьи) показал, что обобщенно применения ИНС в экономике можно систематизировать следующим образом:

1. ИНС как математический аппарат изучения экономических процессов.

Нейронные сети могут использоваться как альтернатива традиционным методам статистического анализа, таким как кластерный анализ (Летягина и др., 2021), прогнозирование на основе временных рядов (Губарев и др., 2023) и т.д. Эти исследования в настоящий момент составляют наибольшую долю экономических приложений ИНС. ИНС имеют серьезные преимущества перед классическими методами. Например, ИНС позволяют аппроксимировать любую непрерывную, а значит и нелинейную функцию. Поэтому для нелинейных моделей, например, финансовых временных рядов, кластерного анализа и др. они более эффективны.

Важно также, что ИНС не имеют жестких ограничивающих условий при решении задач, как в статистическом или эконометрическом анализе. Наконец, они способны открывать более глубокие, неочевидные невооруженному глазу закономерности/связи между различными экономическими переменными.

2. ИНС как модель поведения рациональных экономических агентов (людей, домохозяйств, организаций и т.д.). При таком использовании ИНС не просто решает вычислительные задачи (например, оптимизации переменных прибыли, издержек и др.), а является самостоятельно (автономно) обучающейся и функционирующей частью экономической модели. Иными словами, в данном применении принципы, структура и функционирование ИНС изоморфны определенным экономическим процессам.

Это направление является менее распространенным. В данном подходе нейроны / нейронные сети интерпретируются как экономические агенты, которые обновляют свое восприятие окружающей среды в соответствии с получаемой информацией из внешней среды, а принимаемые решения в свою очередь оказывают влияние на поведение самих агентов. Иными словами, ИНС рассматривается как управлеченческий механизм при моделировании экономических систем (Бахтизин, 2005; Бахтизин, Макаров, 2023).

Как пишет Бахтизин, «в ближайшее время начнется новый этап создания контента с использованием генеративных моделей... которые в состоянии строить компьютерные модели социально-экономических систем (к примеру, равновесных и агент-ориентированных моделей) и реализовывать их в виде компьютерных программ с использованием любых программных языков» (Бахтизин, 2023).

3. ИНС как методология/мировоззрение. Наконец, есть отдельные работы, в которых ИНС рассматриваются как модель познания, как особый подход к изучаемому объекту (Andrejuk, 2012; Andreyuk et al., 2022). «Эвристическая ценность нейронных сетей состоит не только в том, что они могут объяснить — хотя бы частично! — функционирование мозга и нервной системы в целом. Даже упрощенные представления о нейронах и нейронных сетях могут использоваться как формальные модели при решении проблем, никак непосредственно не связанных ни с сознанием, ни даже с психикой: экономических, управлеченческих, инженерных» (Петрунин, 2015, с. 25). Сама постановка вопроса, способ анализа материала, интерпретация полученных результатов могут быть обусловлены нейронной метафорой (Нейрокомпьютерная парадигма и общество, 2012, с. 9). Можно, например, рассматривать любую организацию как нейронную сеть, а процесс принятия управлеченческих решений как процесс обучения нейронной сети, а социальные и управлеченческие сети как особую архитектуру нейронной сети.

И первая, и вторая группа примеров применения ИНС являются методами познания экономических явлений, в первом случае — математическим аппаратом, во втором — кибернетической моделью, иными словами, оба они относятся к теоретическому уровню науки, точнее говоря, к экономической эпистемологии. К более высоким теоретическим конструктам относятся научно-исследовательские программы (НИП, И. Лакатос) и парадигмы (Т. Кун). О преимуществах и недостатках этих концепций идут споры, иногда жаркие. На наш взгляд, резкое противопоставление подходов И. Лакатоса и Т. Куна не имеет серьезных оснований. На наш взгляд, преимущество той или иной концепции определяется контекстуально и телесологически. При решении одних проблем/задач эффективней использовать НИП, для решения других целесообразней применять парадигмальный подход.

Напомню, что в рецензии Т. Куна на статью И. Лакатоса «Рациональная реконструкция истории науки», написано: «Когда я перевел для себя и уловил дух его работы, то был удивлен и обрадован тем, насколько его взрзения близки моим собственным» (Кун, 1998, с. 136).

Фактически главное различие между концепцией Куна и Поппера — Лакатоса состоит в том, существует одна (господствующая) парадигма (монотеоретический подход) или несколько (мультитеоретический подход) (Кун, 1998, с. 127).

Парадигма есть образец решения важнейших задач конкретной науки («научных головоломок» (Кун, 2009, с. 225), и, следовательно, является также и картиной мира, изучаемого учеными. Как пишет Д. Г. Егоров, парадигма включает не только аксиомы/принципы/убеждения, образцы деятельности ученого, его ценностные установки, но и «идеальные модели соответствующей предметной области» (Егоров, 2021). Ее осозае-

мость проявляется перед существенными проблемами, стоящими перед конкретными науками. Как отмечал Т. Кун, новый кандидат на парадигму «должен, по-видимому, решать какую-то спорную и в целом осознанную проблему, которая не может быть решена никаким другим способом» (Кун, 2009, с. 218).

В истории экономической мысли за последний век можно выделить две важные методологические и/или эпистемологические проблемы, в основе которых, по мнению многих ученых, лежит различие парадигм: проблема рациональности/нерациональности экономического выбора и проблема границ методологии экономического индивидуализма и холизма.

Одним из вариантов решения первой проблемы стало появление поведенческой экономики. Ее решение: человек иррационален, но предсказуем.

Поведенческая экономика, сфокусированная на том, как индивиды принимают решения, позволяет на основании экспериментальных исследований объяснить расхождения экономических моделей и их предсказаний с реальностью, опираясь на изучение разнообразных процедур выбора (Пескова, Ковалевская, 2016; Ковалевская, 2016; Ковалевская, 2019).

Как видно из результатов проведенного автором наукометрического анализа, несмотря на кажущуюся близость нейроэкономики и ИНС, их применение в экономических исследованиях, локализация их предметных областей среди других наук, используемые методы познания существенно различаются.

В традиционной нейроэкономике речь идет о естественных (а не искусственных) нейронных сетях в голове человека. В таком синтезе «изюминка» состоит в возможности протестировать в эксперименте экономические модели/теории. Применение ИНС в экономике также можно тестировать, но тесты или эксперименты не требуют применения МРТ или энцефалограммы. Они проверяются результатами традиционных экономических экспериментов, проявляющимися в экономической деятельности, а не изменением мозговой активности индивида, что гораздо ближе к классической эпистемологической процедуре экономической науки.

Методами ИНС можно назвать различные архитектуры сети (многослойный персепtron, самообучающиеся карты Кохонена и др.), описываемые новым математическим/кибернетическим аппаратом.

ИНС представляет собой упрощенную (идеализированную) модель нервной системы. Может ли математический аппарат ИНС приводить к новому пониманию объекта изучения и новой методологии его исследования? Возможно, даже к смене эпистемологической парадигмы? В нашем случае — в экономике?

История науки показывает, что это возможно и даже часто встречается. Например, фундаментом механистической картины мира стало создание математического анализа Лейбницем и Ньютоном. Первоначально новая парадигма захватила только механику, затем другие разделы физики, наконец стала образцом почти для всех наук.

По мнению С. Ю. Глазьева, неоклассическая экономика — яркий пример импортирования математического аппарата классической механики, призванный «убедить читателя в фундаментальном значении получаемых интерпретаций распределения общественного продукта в соответствии с предельной производительностью труда и капитала, которые выдаются за научное доказательство справедливости и совершенства экономики свободного рынка» (Глазьев, 2016, с. 9).

Более близкий к нам пример относится к появлению в середине прошлого века кибернетики, которая, также начав с биологических и технических научных дисциплин, распространила свое влияние («экспансию» или «интервенцию»), на социальные науки, в том числе на экономику.

Нельзя не согласиться с Д. Г. Егоровым, что «перенос методов из одной дисциплины в другую можно назвать одним из основных методологических приемов роста научного знания. Перенос конкретно математических моделей, в свою очередь — частный случай математизации науки. Помимо построения математической модели какой-то конкретной предметной области, возможно заимствование готовой математической теории» (Егоров, 2021, с. 133).

Плюрализм одновременно существующих школ в истории экономической науки, конечно, трудно сочетается с парадигмальным подходом. С другой стороны, отказаться от концепции парадигмы было бы опрометчиво. Если рассматривать методологические вопросы не с чисто абстрактно-философской позиции, а с эпистемологической, то необходимо проанализировать использование термина «парадигма» с научных позиций. Последнее означает, что следует анализировать, прежде всего, эмпирический материал в данном случае, как сами исследователи осознают свои методологические подходы. Здесь опять же значительную роль может сыграть научометрический анализ.

Анализ публикаций в РИНЦ позволил выделить по ключевым словам в публикациях РИНЦ почти 20 экономических парадигм: региональная, нацбезопасности, системная, сетевая, репутационная, неоклассическая/институциональная, постиндустриальная, турбулентности, экономика сложности и др. Чаще всего в текстах российских ученых современными и/или перспективными экономическими парадигмами называются следующие (табл. 2).

Таблица 2

Доля упоминаний различных парадигм в публикациях по экономическим наукам на конец 2023 г.

Парадигма	Доля в публикациях РИНЦ, %
цифровая/информационная/ИИ	34,15
«Зеленая»/экологическая	19,51
Устойчивого развития	9,76
Экономики знаний	4,88
Человеческого капитала	4,88
Остальные	26,83

Источник: рассчитано автором по РИНЦ.

Их число можно уменьшить, если экономику знаний отнести к цифровой парадигме и объединить парадигмы «человеческого капитала», «устойчивого развития» и «зеленую/экологическую» парадигмы. В любом варианте самой популярной останется цифровая/информационная/ИИ парадигма.

Вторая важная эпистемологическая проблема в экономике связана со способом исследования экономических (и не только экономических) явлений: либо они объясняются индивидуальным поведением, либо существует много надиндивидуальных явлений, которые не выводятся из индивидуальных решений отдельных людей, возможно даже наоборот, отдельные поступки человека детерминируются надиндивидуальными мегасубъектами (коллектив, организация, государство) (Шаститко, Тутов, 2023). Отмечается, что распространение ИИ в экономике может служить серьезным аргументом, как минимум, в ограниченности методологического индивидуализма как в теоретическом плане, так и в практическом (там же, с. 14)³.

Общенаучный контекст влияния ИНС на методологию наук

Как известно, концептуальные модели философии науки строились, в основном, на истории физики. Несмотря на определенный разрыв между социально-гуманитарными и естественными науками, нельзя не заметить, что события, происходящие на наших глазах, обнаруживают удивительное сходство для относительно отдаленных друг от друга академических сфер.

³ Поскольку речь идет о «самообучающемся ИИ», то вполне можно этот термин заменить термином «ИНС».

Последние события в физике показывают, что использование ИНС и тесно связанного с ними машинного обучения способно генерировать новые теории фундаментальной физики (Karagiorgi et al., 2022).

«Машинное обучение (МО) привело к значительным достижениям во многих научных дисциплинах, чаще всего благодаря его способности обрабатывать большие и сложные наборы наблюдений и делать прогнозы о желаемых свойствах... Однако было относительно мало применений МО в одной из наиболее фундаментальных частей науки: открытие теории. В данной статье мы демонстрируем новый подход к использованию реальных данных и устоявшихся научных основ для открытия как физических законов, так и ненаблюдаемых свойств сложной физической области» (Lemos et al., 2022).

И далее: «Мы представляем подход к использованию машинного обучения для автоматического обнаружения основных уравнений и скрытых свойств реальных физических систем на основе наблюдений. Мы обучаем “графическую нейронную сеть” для моделирования динамики Солнца, планет и их спутников на основе данных о траекториях за 30 лет. Затем мы используем символьную регрессию, чтобы найти аналитическое выражение для закона силы, неявно изученного нейронной сетью, который, как показали наши результаты, эквивалентен закону гравитации Ньютона... наш подход не требовал каких-либо предположений о массах планет и спутников. Они также были точно выведены нашими методами. Хотя, конечно, классический закон гравитации известен со времен Исаака Ньютона, наш результат служит подтверждением того, что наш метод может открывать неизвестные законы и скрытые свойства на основе наблюдаемых данных. В более широком смысле эта работа представляет собой ключевой шаг на пути к реализации потенциала машинного обучения для ускорения научных открытий» (там же).

Одна из программ пришла к тому же выводу, что и Коперник: используя эмпирические данные для наблюдателя с Земли (т.е. фактически, геоцентрические данные) о движении Солнца и Марса, вывела гелиоцентрическую модель Солнечной системы (Iten et al., 2020).

Физик-теоретик В. Ванчурин обосновал, что Вселенная может быть описана как самообучающаяся нейронная сеть, а ее законы как самообучающиеся алгоритмы: «В настоящее время утверждение о том, что естественный отбор может иметь значение во всех масштабах, весьма спекулятивно, но кажется, что нейронные сети действительно предлагают интересный новый взгляд на проблему наблюдателей» (Vanchurin, 2020, р. 20).

Сопоставление роли ИНС в развитии методологии и эпистемологии экономической науки с общенаучными трендами обнаруживает схожие тенденции в трансформации методологических парадигм в разных науках (физике, астрономии) под влиянием использования ИНС. Вряд ли в таком случае можно говорить о единой научно-исследовательской про-

грамм. Корректней назвать это формирующейся под воздействием теории ИНС единой парадигме.

Как пишет известный популяризатор науки Д. Тулинов, «взлет глубоких нейронных сетей и машинного обучения предвещает науке нечто гораздо большее, чем помочь в вычислениях. Кажется, это изменит сам способ познания мира» (Тулинов, 2022).

Заключение

Интеграция экономики с нейронауками может происходить по двум направлениям: во-первых, со стороны нейробиологии, т.е. реальных нервных сетей в живых организмах, во-вторых, со стороны теории ИНС. Первое сейчас преобладает, хотя научно-исследовательская активность, как показал научометрический анализ, начинает падать⁴. Второе направление показывает ускоряющийся рост публикаций. Более перспективным, на наш взгляд, является второе, которое еще не оформилось в качестве признанной научным сообществом парадигмы. Понимание преимуществ взгляда на экономические процессы и их познания сквозь призму ИНС открывает новые горизонты экономической науки.

Какие парадигмальные новации вносит ИНС в экономическую науку?

1. ИНС вводит новые формы доказательства, неприемлемые в традиционной экономической науке (да и в науке как таковой). Результаты ИНС и МО, строго говоря, не воспроизводимы, а доказательства непрозрачны.

2. ИНС отходят от парадигмы экономического индивидуализма. Правильней сказать, они инвариантны относительно альтернативы индивидуализм — холизм. ИНС лучше (точнее) объясняют поведение групповых объектов: экономических кластеров, организаций и других макрообъектов. Структура ИНС, описывающего интеллектуальные процессы в мозге индивида, легко переносится на социальные и экономические процессы (и даже космологические), практически без ограничения по масштабу.

3. Эпистемологические характеристики групповых объектов — память, обучение, обработка информации, принятие решений — принципиально отличаются от классических, традиционных эпистемологических характеристик. «Знания о» (Платон и Аристотель) заменяется на «знание как» (Полани, 1985), связанные с неформализованными, неосознаваемыми, несистемными компетенциями. Данный переход уже давно возник в управлении знаниями (knowledge management), но ИНС онтологизировали феноменологические описания эпистемических процессов в группе

⁴ Возможно, уменьшение публикаций частично связано с трансформацией названия темы в «поведенческую/экспериментальную экономику».

на макроуровне. Соответственно и выбор агентом оптимального решения в условиях ограниченного ресурса также будет происходить иначе, чем это описывается в рациональных, либо частично рациональных, нейроэкономических моделях.

Нейроэкономика базируется на утверждении, что человек (агент) действует нерационально, но предсказуемо. ИНС обосновывает более радикальное суждение: если человек действует не рационально, то это относится и к научному познанию, которое невоспроизводимо (или частично невоспроизводимо?) и непрозрачно для других людей/наблюдателей, но тем не менее остается способным к открытию истины. Фактически это отход от классической рациональности⁵.

Таким образом, парадигма ИНС в экономике (и не только в экономике) меняет как субъект познания, вводя радикально новые формы / виды доказательства, так и объект познания, меняя фокус изучения с индивидуального экономического поведения на коллективное экономическое поведение мегасубъектов. Нейросеть моделирует не индивидуальные реакции и поведение, а реакции и поведение групп людей (социоморфные мегасубъекты). Конференции, научные семинары, социальные группы, организации, экономические кластеры, спортивные лиги воспринимаются как ИНС, обладающие коллективной памятью, общими знаниями, обучающиеся (адаптируемые к внешней среде) совместно как единое целое и параллельной обработке информации, являются хорошим примером коллективного ИИ. На вопрос, как может сочетаться общий и индивидуальные ИИ, пока ответа нет, хотя сам вопрос уже осознан учеными (Тегмарк, 2019, с. 453–465).

Иными словами, есть все основания утверждать, что теория ИНС весьма радикально может изменить/трансформировать фундаментальные представления о методологии познания экономических объектов и о предмете исследования экономической науки.

Список литературы

Андреюк, Д. С. (2012). Программы поведения и потоки информации: нейроэволюционный подход к оптимизации управления экономическими системами. *НейроСоциальная парадигма и общество*. М.: Издательство Московского университета, 276–290.

Бабкин, А. В., Лычагин, М. В., & Лычагин, А. М. (2023). Новые аспекты инженерно-экономических исследований с позиции многомерного научометрического анализа на материалах EconLit и других источников. *Управление наукой и научометрия*, 18(2), 202–247. <https://doi.org/10.33873/2686-6706.2023.18-2.202-247>

⁵ Вспоминается в этой связи выводы из теоремы Белла в квантовой механике: мир либо не локален, либо не объективен, либо и то, другое вместе.

- Бахтизин, А. Р. (2005). Агентно-ориентированные модели. *Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., & Бахтизина, Н. В. CGE-модель социально-экономической системы России со встроенными нейронными сетями*. М.: ЦЭМИ РАН
- Бахтизин, А. Р. (2023). Вопросы прогнозирования в современных условиях. *Экономическое возрождение России*, 2(76). [https://doi.org/10.37930/1990-9780-2023-2\(76\)-53-62](https://doi.org/10.37930/1990-9780-2023-2(76)-53-62)
- Бахтизин, А. Р., Брагин, А. В., & Макаров, В. Л. (2023). Большие языковые модели четвертого поколения как новый инструмент в научной работе. *Искусственные общества*, 18(1). URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800025046-9-1/>. <https://doi.org/10.18254/S207751800025046-9>
- Берлин, С. И., & Козырь, Н. С. (2022). Цифровизация экономики в обеспечении экономической безопасности РФ: научометрический анализ. *Естественно-гуманитарные исследования*, 40(2), 46–51. EDN: PEYPGA
- Глазьев, С. Ю. (2016). О новой парадигме в экономической науке. *Государственное управление. Электронный вестник*, 56.
- Губарев, Р. В., Чередниченко, Л. Г., Бородин, А. И., & Дзюба, Е. И. (2023). Сравнительный анализ эффективности корреляционно-регрессионного и нейросетевого моделирования в прогнозировании энергетических выбросов углекислого газа в России. *Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика*, 58(3), 217–238. <https://doi.org/10.55959/MSU0130-0105-6-58-3-11>
- Дайбаге, Д. С., & Поликовский, Т. А. (2023). Роль искусственного интеллекта как стимула в развитии мировой и российской экономики. *Политехнический молодежный журнал*, 11(88). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2023-11-947>
- Егоров, Д. Г. (2021). Сколько парадигм в экономической теории, и может ли она стать наукой с одной парадигмой. *Общественные науки и современность*, 5, 129–142. <https://doi.org/10.31857/S086904990017287-7>.
- Измайлов, А. А. (2022). Методология научно-исследовательских программ в современной экономической науке. *Инновации и инвестиции*, 4, 40–46.
- Канеман, Д., & Тверски, А. (2003). Рациональный выбор, ценности и фреймы. *Психологический журнал*, 24(4), 31–42.
- Ковалевская, М. С. (2016). Достоверность и реалистичность экономических моделей: вопросы методологии. *Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика*, 2, 26–44.
- Ковалевская, М. С. (2019). Научный статус экономической модели как актуальная методологическая проблема экономической науки. *Экономика устойчивого развития*, 1(37), 349–353.
- Козак, Е. (2021). Применение нейронных сетей в экономике. *Экономика: вчера, сегодня, завтра*, 11(5А), 113–119. DOI: 10.34670/AR.2021.43.81.014;
- Козырь, Н. С. (2022). Проблема ключевых слов региональной экономики: научометрический анализ. *Научные и технические библиотеки*, 6, 100–121. <https://doi.org/10.33186/1027-3689-2022-6-100-121>
- Кун, Т. (1998). *Замечания на статью И. Лакатоса. Рациональная реконструкция истории науки*. Б.: БГК им. И. А. Бодуэна де Куртенэ.
- Кун, Т. (2009). *Структура научных революций*: пер. И. З. Налетова. М.: АСТ МОСКВА.
- Лакатос, И. (1998). Ответ на критику. *Рациональная реконструкция истории науки*. Б.: БГК им. И. А. Бодуэна де Куртенэ.

- Лакатос, И. (1995). *Фальсификация и методология научно-исследовательских программ*. М.: Медиум.
- Нейрокомпьютерная парадигма и общество / под ред. Ю. Ю. Петрунина. (2012). М.: Издательство Московского университета. 304 с.
- Пескова, А. В., & Ковалевская, М. С. (2016). Нейроэкономика и поведенческая экономика: источники синтеза. *Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент»*, 10(3), 18–25
- Петрунин, Ю. Ю. (2015). Нейрофилософия в системе нейронаук. *Нейрокомпьютеры: разработка, применение*, 5, 69–77.
- Полани, М. (1985). *Личностное знание. На пути к посткритической философии*. М.: Прогресс.
- Поппер, К. Р. (1983). *Логика и рост научного знания. Избранные работы*. М.: Прогресс.
- Саймон, Г. (1995). Теория принятия решений в экономической теории и науке о поведении. *Вехи экономической мысли. Т. 2* / под ред. В. М. Гальперина. СПб.: Экономическая школа, 54–72.
- Соколов, М. М., & Чечик, Е. А. (2022). Академические репутации российских экономистов и их наукометрические оценки. *Вопросы экономики*, (11), 117–135. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2022-11-117-135>
- Тегмарк, М. (2019). *Жизнь 3.0. Быть человеком в эпоху искусственного интеллекта*. М., ACT, 453–465.
- Теняков, И. М. (2019). Наукометрия как сдерживающий фактор экономических исследований: опыт США. *Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика*, 3, 62–78.
- Третьякова, О. В. (2021). Российские исследования в области экономики в МНБД Web of Science: библиометрическая оценка. *Журнал НЭА*, 2(50), 199–205. <https://doi.org/10.31737/2221-2264-2021-50-2-12>
- Тулинов, Д. (2022). Нестандартные уравнения: как искусственный интеллект ищет мельчайшие иголки в гигантском стоге сена научных возможностей. *Naked Science*. 26.11.2022. <https://naked-science.ru/article/hi-tech/nestandardnye-uravneniya-kak?ysclid=ls4ucjkus364904658>
- Тутов, Л. А., & Измайлов, А. А. (2022). Методология научно-исследовательских программ как инструмент для решения современных проблем экономической науки. *Философия хозяйства*, 4, 89–106.
- Тутов, Л. А., & Измайлов, А. А. (2022). Применение контент-анализа для выявления жесткого ядра новой институциональной экономической теории. *Философия хозяйства*, 6, 93–110.
- Шастицко, А. Е., & Тутов, Л. А. (2023). Заметки о методологическом индивидуализме в экономических исследованиях: есть ли границы применения? *Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика*, 58(1), 3–21. <https://doi.org/10.55959/MSU0130-0105-6-58-1-1>
- Чернова, О. А. (2022). Влияние открытого доступа на наукометрические показатели российских экономических журналов. *Управленец*, 13(4), 69–82. <https://doi.org/10.29141/2218-5003-2022-13-4-6>. EDN: SZJQAN
- Abramo, G., & Oxley, L. (2021). Scientometric-based analysis in business and economics: Introduction, examples and guidelines. *Journal of Economic Surveys. Special issue*, 35(5), 1261–1270. <https://doi.org/10.1111/joes.12476>

- Andreyuk, D. S., Petrunin, Yu., Shuranova, A., & Ushakov, V. L. (2022). Information agenda as an analogue of attention in sociomorphic neuronal networks. *Procedia computer science*, Elsevier BV (Netherlands), 213C, 292–295.
- Bickley, S. J., Chan, H. F., & Torgler, B. (2022). Artificial intelligence in the field of economics. *Scientometrics* 127, 2055–2084. <https://doi.org/10.1007/s11192-022-04294-w>
- Feickert, M., & Nachman, B. P. (2021 web). *A Living Review of Machine Learning for Particle Physics*. <https://arxiv.org/pdf/2102.02770.pdf>
- Herbrich, R., Keilbach, M., Graepel, T., Bollmann-Sdorra, P. & Obermayer, K. (1999). Neural Networks in Economics. Background, Applications and New Developments. *Computational Techniques for Modelling Learning in Economics*. Springer New York, NY., 169–196;
- Iten, R., Metger, T., Wilming, H., del Rio, L., & Renner, R. (2020). *Discovering Physical Concepts with Neural Networks*. *Phys. Rev. Lett.* Published 8 January 2020.
- Karagiorgi, G., Kasieczka, G., Kravitz, S., Nachman, B. & Shih, D. (2022). Machine learning in the search for new fundamental physics. *Nature Reviews Physics*, 4, 399–412
- Lemos, P., Jeffrey, N., Cranmer, M., Ho, S., & Battaglia, P. (2022). Rediscovering orbital mechanics with machine learning. *Earth and Planetary Astrophysics*. arXiv:2202.02306v1 <https://doi.org/10.48550/arXiv.2202.02306>
- McCulloch, W.,S., & Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5, 115–133. <https://doi.org/10.1007/BF02478259>
- Mustak, M., Salminen, J., Plé, L., & Wirtz, J. (2021). Artificial intelligence in marketing: Topic modeling, scientometric analysis, and research agenda. *Journal of Business Research*, 124, January, 389–404. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.10.044>
- Rousseau, S., & Rousseau, R. (2021) Bibliometric techniques and their use in business and economics research. *Journal of Economic Surveys. Special issue*, 35(5), 1428–1451 <https://doi.org/10.1111/joes.12415>
- Vanchurin, V. (2020). The world as a neural network. arXiv:2008.01540v1 [physics.gen-ph] 4 Aug.

References

- Andreyuk, D. S., (2012). Behavioral programs and information flows: a neuroevolutionary approach to optimizing the management of economic systems. *Neurocomputing paradigm and society*. Lomonosov Moscow State University.
- Bakhtizin, A., Bragin, A., & Makarov, V. (2023). Large Fourth-Generation Language Models as a New Tool in Scientific Research. *Artificial societies*, 18(1). DOI: 10.18254/S207751800025046-9
- Egorov, D. (2021). How Many Paradigms There are in Economic Theory — and Can It Become a One- Paradigm Science. *Obshchestvennye nauki i sovremennost'*, 5, 129–142. DOI: 10.31857/S086904990017287-7
- Glazhev, S. Y. (2016). A New Paradigm of Economic Science. *Public Administration. E-journal (Russia)*, 56.
- Gubarev, R. V., Cherednichenko, L. G., Borodin, A. I., & Dziuba, E. I. (2023). Comparative analysis of the effectiveness of correlation-regression and neural network modeling in predicting energy emissions of carbon dioxide in Russia. *Lomonosov Economics Journal*, 58(3), 217–238. <https://doi.org/10.55959/MSU0130-0105-6-58-3-11>
- Kovalevskaya, M. S. (2019). Scientific status of the economic model as an actual methodological problem of economic science. *Ekonomika ustojchivogo razvitiya*, 1(37), 349–353.

Neurocomputing paradigm and society. (2012). Ed. by Yu. Petrunin. Moscow: Moscow University Press, 304 p. (Scientific Research).

Peskova, A. V., & Kovalevskaya, M. S. (2016). Neuroeconomics and behavioral economics: synthesis sources. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Economics and Management*, 10(3), 18–25.

Polanyi, M. (1958). *Personal knowledge. Towards a Post-Critical Philosophy*. Chicago: University of Chicago Press. Edited by Mary Jo Nye.

Shastitko, A. E., & Tutov, L. A. (2023). Notes on methodological individualism in economic research: are there limits to the application? *Lomonosov Economics Journal*, 58(1), 3–21. <https://doi.org/10.55959/MSU0130-0105-6-58-1-1>