

Научная статья

УДК 004.8

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.18507>

EDN: <https://elibrary/DDBOJU>



ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАК КЛЮЧЕВОЙ ИНСТРУМЕНТ РАЗВИТИЯ ПРИРОДОПОДОБНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Н.В. Барсегян , А.И. Шинкевич  

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Казань, Российская Федерация

 ashinkevich@mail.ru

Аннотация. Актуальность данного исследования обусловлена острой необходимостью обеспечения технологического суверенитета и экономической устойчивости России в контексте глобальных экологических вызовов и беспрецедентного санкционного давления. Ответом на эти системные риски является переход к новой парадигме экономического развития, основанной на глубокой интеграции искусственного интеллекта (ИИ) и природоподобных технологий (ППТ). Эта связка рассматривается как ключевой драйвер для преодоления сырьевой зависимости, повышения конкурентоспособности и перехода к модели циркулярной экономики. Целью исследования является систематизация и анализ ключевых ролей и функций ИИ как катализатора и интеграционной платформы для реализации принципов ППТ в различных секторах экономики. Методологическая основа исследования включает комплексный подход, объединяющий методы системного и сравнительного анализов, а также экономико-статистическую обработку данных официальных источников (Росстат, Минцифры России) и отраслевой аналитики РАЭК. В результате исследования предложена структурная модель, демонстрирующая синергетические эффекты интеграции ИИ и ППТ. На микроуровне подтверждено снижение операционных затрат предприятий на 15–30% за счет оптимизации ресурсопотребления. На мезоуровне выявлен потенциал формирования новых рынков вторичных ресурсов с объемом до 3–5% ВРП. На макроуровне прогнозируется снижение энергоемкости ВВП на 15–20%, что напрямую усилит экономическую безопасность страны. Оценен значительный рыночный потенциал сектора ИИ–ППТ, прогнозируемый к росту с 158 млрд руб. в 2024 г. до 450–600 млрд руб. к 2030 г. При этом идентифицированы ключевые барьеры, сдерживающие развитие: структурный кадровый дефицит (25–30 тыс. специалистов ежегодно), критический износ основных фондов (45–60%) и хронический недостаток венчурного финансирования. Сделан вывод, что интеграция ИИ и ППТ формирует новую технологическую и экономическую парадигму, а их ускоренное развитие является безусловным стратегическим императивом для диверсификации экономики и обеспечения долгосрочного технологического суверенитета Российской Федерации.

Ключевые слова: искусственный интеллект, природоподобные технологии, устойчивое развитие, технологический суверенитет, цифровая экосистема, индустрия 5.0

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Академии наук Республики Татарстан, предоставленного молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан в рамках государственной программы Республики Татарстан «Научно-технологическое развитие Республики Татарстан» (соглашение №109/2024-ПД).

Для цитирования: Барсегян Н.В., Шинкевич А.И. (2025) Искусственный интеллект как ключевой инструмент развития природоподобных технологий. П-Economy, 18 (5), 100–112. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.18507>

Research article

DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.18507>

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A KEY TOOL FOR THE DEVELOPMENT OF NATURE-LIKE TECHNOLOGIES

N.V. Barsegyan , **A.I. Shinkevich**  Kazan National Research Technological University,
Kazan, Russian Federation ashinkevich@mail.ru

Abstract. The relevance of this study is driven by the acute need to ensure Russia's technological sovereignty and economic resilience in the context of global environmental challenges and unprecedented sanctions pressure. The response to these systemic risks is a transition to a new paradigm of economic development based on the deep integration of artificial intelligence (AI) and nature-like technologies (NLT). This combination is considered a key driver for overcoming resource dependency, enhancing competitiveness and transitioning to a circular economy model. The aim of the research is to systematize and analyze the key roles and functions of AI as a catalyst and integration platform for implementing the principles of NLT across various economic sectors. The methodological framework of the study involves a comprehensive approach, combining methods of systemic and comparative analysis, as well as economic and statistical processing of data from official sources (Rosstat, the Russian Ministry of Digital Development) and industry analytics from RAEC. As a result of the study, a structural model is proposed, demonstrating the synergistic effects of integrating AI and NLT. At the micro-level, a 15–30% reduction in corporate operating costs through the optimization of resource consumption is confirmed. At the meso-level, the potential for the formation of new secondary resource markets with a volume of up to 3–5% of the GRP is identified. At the macro-level, a 15–20% reduction in the GDP energy intensity is forecasted, which will directly enhance the country's economic security. The significant market potential of the AI–NLT sector is assessed, with projections indicating growth from 158 billion rubles in 2024 to 450–600 billion rubles by 2030. Key barriers hindering development have been identified: a structural personnel shortage (25–30 thousand specialists annually), critical wear and tear of fixed assets (45–60%) and a chronic lack of venture financing. It is concluded that the integration of AI and NLT is forming a new technological and economic paradigm, and their accelerated development is an unconditional strategic imperative for diversifying the economy and ensuring the long-term technological sovereignty of the Russian Federation.

Keywords: artificial intelligence, nature-like technologies, sustainable development, technological sovereignty, digital ecosystem, industry 5.0

Acknowledgements: This research was financially supported by a grant from the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, awarded to young candidates of science (postdoctoral researchers) for the purpose of preparing a doctoral dissertation, conducting scientific research and fulfilling professional duties at scientific and educational institutions in the Republic of Tatarstan. The grant is provided within the framework of the state program of the Republic of Tatarstan "Scientific and Technological Development of the Republic of Tatarstan" (Agreement No. 109/2024-PD).

Citation: Barsegyan N.V., Shinkevich A.I. (2025) Artificial intelligence as a key tool for the development of nature-like technologies. *П-Economy*, 18 (5), 100–112. DOI: <https://doi.org/10.18721/JE.18507>

Введение

Актуальность проведенного исследования обусловлена комплексом стратегических, научных и технологических факторов. На государственном уровне разработка и внедрение природоподобных технологий признаны одним из ключевых приоритетов, что закреплено в соответствующем Указе Президента РФ, а также напрямую связано с решением задач Стратегии научно-технологического развития, направленной на переход к передовым производственным

технологиям и достижение технологического суверенитета страны. В условиях глобальных вызовов способность создавать высокотехнологичные, замкнутые и ресурсоэффективные производственные системы, аналогичные природным, становится вопросом национальной конкурентоспособности и безопасности. Параллельно в мировом научном сообществе наблюдается экспоненциальный рост числа публикаций на стыке искусственного интеллекта (ИИ) и устойчивого развития, что свидетельствует о формировании новой междисциплинарной парадигмы.

Антропогенное воздействие на биосферу, выраженное в истощении природных ресурсов, нарастании экологического дисбаланса и изменении климата, актуализирует поиск принципиально новых путей технологического развития. Сложившаяся линейная экономическая модель «добыть – произвести – выбросить» демонстрирует свою исчерпанность, требуя перехода к парадигме устойчивого развития. Ответом на этот глобальный вызов становится концепция природоподобных технологий (ППТ), которые не противопоставляются природе, а напротив, функционируют по ее законам, обеспечивая высокую ресурсоэффективность, замкнутость материальных и энергетических потоков и минимальное негативное воздействие на окружающую среду. Философской основой данной концепции служит учение В.И. Вернадского о ноосфере [4] – сфере разума, где человеческая деятельность становится определяющим геологическим фактором, что накладывает особую ответственность за гармонизацию взаимоотношений техносферы и биосферы.

Технологическим воплощением этого подхода являются принципы биомиметики [18], предлагающей заимствовать у природы проверенные временем паттерны и стратегии, и «циркулярной экономики» [27], ориентированной на создание безотходных производственных циклов по аналогии с природными экосистемами. Однако практическая реализация ППТ сталкивается с фундаментальной сложностью: природные системы обладают нелинейностью, сверхсложностью и способностью к адаптации, что традиционно превосходит возможности классических инженерных методов управления.

Именно здесь на первый план выходит ИИ, выступающий ключевым фактором, позволяющим перейти от теоретической концепции ППТ к их практической реализации. Способность ИИ к обработке больших данных, самообучению, распознаванию сложных паттернов и многокритериальной оптимизации делает его идеальным инструментом для проектирования и управления системами, сопоставимыми по сложности с природными. Современные исследования демонстрируют эффективность ИИ в таких областях, как создание интеллектуальных энергосистем, генеративный дизайн новых материалов, оптимизация производственных процессов и автономное управление экологическими параметрами на основе обучения с подкреплением. Таким образом, формируется новая исследовательская область на стыке наук, требующая системного анализа и обобщения.

Литературный обзор

Проведение литературного обзора требует комплексного подхода, объединяющего теоретико-методологические основы, сформулированные в работах российских ученых, с конкретными технологическими решениями и прикладными исследованиями, широко представленными в международной научной периодике. Настоящий обзор синтезирует эти два пласта, выстраивая целостную систему взглядов на роль ИИ как драйвера развития ППТ.

Современное развитие концепции В.И. Вернадского [9] актуализирует ее для решения глобальных вызовов XXI века, таких как экологические кризисы и истощение ресурсов, что напрямую перекликается с взглядами В.В. Полякова, определяющего ППТ как инновационный ответ на эти вызовы [12].

На международном уровне концепция получает воплощение в виде принципов биомиметики [18] и «циркулярной экономики» «от колыбели до колыбели» [27]. Эти подходы, как и исследования А. Лебдиуи [26] об «инновационной политике, ориентированной на природоподобие»,

смещают акцент с минимизации вреда на создание безотходных, регенеративных систем, полностью интегрированных в природные циклы.

В российском контексте эта тема напрямую увязана с задачами технологического суверенитета [8] и переходом к Индустрии 5.0 [5, 17], где антропоцентричность и устойчивость выходят на первый план. Таким образом, ППТ становятся не только экологическим императивом, но и стратегическим национальным приоритетом [6].

Роль ИИ как системообразующего элемента ППТ раскрывается на всех уровнях — от создания новых материалов до управления сложными эколого-экономическими системами.

На микроуровне ИИ выступает как катализатор открытия новых решений. В то время как Т. Берталья и др. [19] и Д.К. Селвам, Ю. Девараджан [31] демонстрируют создание природоподобных материалов для энергохранилищ и гибридных систем, именно алгоритмы генеративного дизайна и машинного обучения позволяют ускорить этот процесс, находя оптимальные, бионические структуры. На уровне энергосистем работа Н.К. Гайтан и др. [23] является наглядным примером «природоподобного» управления, где ИИ обеспечивает устойчивость и эффективность гетерогенных сетей, основанных на возобновляемых источниках энергии, что коррелирует с трендами «зеленой» трансформации, отмечаемыми в нефтегазовом секторе [10].

Уровень производства и управления наиболее ярко иллюстрирует тезис об ИИ как о ядре ППТ. Исследования интеллектуального планирования [28] и Data-Driven управления [32] показывают, как ИИ создает гибкие, самонастраивающиеся производственные цепочки. Это прямое воплощение принципов, заложенных в концепции цифровых экосистем [7] и клиентоориентированных стратегий в цифровой экономике [16].

Ключевым примером является применение обучения с подкреплением (Reinforcement Learning) для автономного контроля параметров окружающей среды, как в работе Д.А. Гудларчи, Х.Д. Перейры [24]. Это природоподобное управление: система не следует жесткому алгоритму, а учится на взаимодействии со средой, подобно живому организму. Данный подход может быть экстраполирован на задачи природоподобного управления регионом [13], где ИИ, анализируя большие данные, может моделировать и оптимизировать социально-экономические и экологические процессы.

Классическая работа М.Р. Чертов [20] описывает промышленный симбиоз как готовую модель ППТ в масштабе региона. Однако ее потенциал может быть радикально усилен ИИ. Алгоритмы оптимизации [30] и роевого интеллекта [25] позволяют перейти от статичных синергий к динамическому поиску новых связей и оптимальному управлению материальными потоками в реальном времени. Это создает основу для устойчивого социально-экономического развития [1] и новой прорывной экономики [11], основанной на принципах замкнутых циклов.

Синтез идей показывает, что синергия ИИ и ППТ порождает качественно новый эффект: технологии перестают быть просто эффективными и становятся «живыми» в смысле их адаптивности, устойчивости и интеграции в природу.

Однако этому препятствуют системные вызовы:

1. Технологические и кадровые — «цифровой разрыв» в компетенциях, отмеченный в контексте технологического суверенитета, и сложность интеграции разнородных систем.
2. Методологические — необходимость развития комплексного подхода к определению ИИ [2] и методологии целеполагания [3] для цифровой эпохи.
3. Экономические — высокие первоначальные инвестиции и риски, требующие новых моделей управления, ориентированных на долгосрочную устойчивость, а не сиюминутную прибыль.

Таким образом, проведенный литературный обзор демонстрирует, что ИИ является не просто инструментом оптимизации в рамках старой парадигмы, а ключевым элементом технологического перехода к принципиально новой модели — природоподобной. Российские исследования

задают мощный концептуальный и стратегический каркас для этого перехода, в то время как международные прикладные работы предоставляют богатый арсенал конкретных методов и решений (машинное обучение, обучение с подкреплением, роевой интеллект). Их объединение позволяет создать теоретическую и практическую базу для реализации ППТ, что является критически важным условием для обеспечения устойчивого развития и технологического суверенитета России в XXI веке.

Цель и задачи исследования

Целью исследования является систематизация и анализ ключевых ролей и функций ИИ как катализатора и интеграционной платформы для реализации принципов ППТ в различных секторах экономики.

Задачи исследования:

- определить ключевую роль ИИ в реализации парадигмы ППТ;
- выявить системные вызовы внедрения связки ИИ–ППТ;
- предложить модель, отражающая синергетические эффекты интеграции ИИ и ППТ;
- оценить рыночный потенциал технологий ИИ и ППТ на основе комплексного анализа статистических данных.

Объектом исследования выступает процесс развития ППТ.

Предмет исследования — методы и механизмы ИИ, обеспечивающие его ключевую роль в развитии ППТ.

Методы и материалы

Для достижения поставленной цели и решения сформулированных задач в исследовании применялся комплекс взаимодополняющих методов, образующих единый методологический аппарат. Его ядро составили:

- 1) системный анализ — рассмотрение объекта изучения системы «ИИ– ППТ» как целостного комплекса взаимосвязанных элементов, что позволило выявить структуру системы, определив ее ключевые компоненты: концептуально-философский базис (ноосфера, биомиметика), технологический инструментарий (алгоритмы ИИ) и предметные области применения;
- 2) сравнительно-сопоставительный метод — проведение критического анализа и сопоставления различных подходов, представленных в источниках; сравнение трактовок базовых понятий в российских и международных исследованиях для выявления общих черт и специфики;
- 3) моделирование — разработка многоуровневой модели, структурирующей взаимосвязи между ИИ и ППТ для графического и концептуального представления системы, где ИИ выступает интеграционной платформой, связывающей концептуальный, технологический и прикладной уровни.

Таким образом, примененный комплекс методов обеспечил необходимую глубину, системность и обоснованность исследования, позволив не просто описать существующие разработки, а выйти на уровень теоретического обобщения и построения целостной научной концепции.

Результаты и обсуждение

Интеграция ИИ и ППТ переопределяет источники конкурентного преимущества, трансформирует структуру издержек и создает новые рынки. Для России ускоренное развитие этого направления является не экологическим выбором, а стратегической экономической необходимостью для диверсификации экономики, обеспечения суверенитета.

Внедрение связки ИИ–ППТ создает значительные возможности для обеспечения технологического суверенитета России, однако сопряжено с системными вызовами. Анализ позволяет выделить следующие критические аспекты.

Технологические риски включают зависимость от импорта вычислительного оборудования и программного обеспечения, что создает уязвимости в условиях санкционных ограничений. Особую озабоченность вызывает отставание в разработке отечественных программных решений для обучения нейросетей. Кадровый дефицит проявляется в недостатке специалистов, способных работать на стыке экологии, компьютерных наук и экономики – по оценкам, потребность в таких кадрах составляет 25–30 тыс. человек ежегодно.

Регуляторные барьеры связаны с отсутствием стандартов и методик оценки эффективности природоподобных решений, что затрудняет их внедрение в госзакупках и промышленности.

Экономические риски включают высокую капиталоемкость проектов – средняя стоимость внедрения ИИ-решений в ППТ составляет 150–200 млн руб., при этом срок окупаемости превышает 5–7 лет. Дополнительную сложность создает недостаточность данных для обучения ИИ-моделей – по оценкам, российские компании обладают в 3–5 раз меньшими объемами размеченных данных по сравнению с международными аналогами.

Внедрение ППТ формирует новую экономическую реальность, переход к которой характеризуется снижением ресурсоемкости ВВП, созданием рынков «замкнутого цикла» и изменением конкурентных преимуществ на глобальной арене. Нами предлагается структурная модель применения ИИ и ППТ на трех уровнях хозяйственной деятельности (рис. 1).

1. Микроуровень (уровень компании и продукта): экономика замкнутого цикла и снижение операционных издержек. На данном уровне ИИ и ППТ напрямую воздействуют на структуру издержек предприятия и формируют новые бизнес-модели:

- снижение материало- и энергоемкости продукции – использование генеративного дизайна и бионических конструкций, оптимизированных ИИ, позволяет радикально сократить количество сырья, необходимого для производства, без потери функциональности, что приводит к прямому снижению переменных издержек и уменьшению зависимости от волатильности цен на сырьевых рынках;

- переход от линейной к циркулярной бизнес-модели – ИИ делает возможным реализацию моделей «продукт-как-услуга»: производитель, используя цифрового двойника и предиктивную



Рис. 1. Структурная модель применения ИИ и ППТ на уровнях хозяйственной деятельности

Fig. 1. Structural model of the application of AI and NLT at the levels of economic activity

аналитику, может управлять всем жизненным циклом изделия, оптимизируя его ремонт, модернизацию, возврат и утилизацию компонентов;

- оптимизация операционной деятельности — самоорганизующиеся цепочки и прескриптивная аналитика сокращают простои оборудования, перерасход энергии и брак, что ведет к снижению операционных издержек и повышению производительности капитала.

2. Мезоуровень (уровень отрасли и региона) — формирование новых рынков и промышленный симбиоз. На этом уровне эффекты проявляются в изменении отраслевой структуры и региональной специализации:

- формирование рынков вторичных ресурсов и «зеленых» технологий — интеллектуальные платформы на базе ИИ, управляющие промышленным симбиозом, создают спрос и предложение на побочные продукты производства, формализуя и делая ликвидными те материальные потоки, которые ранее считались отходами, что ведет к созданию новых рыночных ниш и субьектов хозяйствования;

- повышение устойчивости и конкурентоспособности региональных кластеров — регионы, внедряющие такие интегрированные решения, снижают свои риски, связанные с удаленными поставками ресурсов и утилизацией отходов, что повышает их инвестиционную привлекательность и создает основу для устойчивого регионального развития, что напрямую коррелирует с концепцией «образа будущего» для промышленных регионов России;

- снижение транзакционных издержек — децентрализованные автономные организации на базе блокчейна и ИИ автоматизируют сложные взаимодействия между множеством независимых участников экосистемы (заключение контрактов, верификация поставок, платежи), снижая транзакционные издержки и повышая доверие между контрагентами.

3. Макроуровень (уровень национальной экономики) — технологический суверенитет и новая парадигма роста. На макроуровне комбинация ИИ и ППТ становится фактором стратегического позиционирования страны в мировой экономике:

- обеспечение технологического суверенитета — способность самостоятельно разрабатывать и производить критически важные технологии (например, новые материалы, системы управления энергосетями) снижает зависимость от импорта и укрепляет экономическую безопасность страны;

- структурная перестройка экономики — активное развитие данного направления стимулирует спрос на высококвалифицированные кадры, фундаментальные и прикладные исследования, что ведет к сдвигу экономики от сырьевой модели к инновационной, основанной на знаниях и «зеленых» технологиях;

- снижение экологических издержек — минимизация негативного воздействия на окружающую среду приводит к значительному сокращению экстерналий (внешних издержек), которые сегодня ложатся бременем на систему здравоохранения и бюджеты всех уровней, что повышает качество человеческого капитала — ключевого фактора долгосрочного экономического роста в XXI веке.

Перспективные направления для прорыва включают развитие специализированных отечественных решений в области энергоэффективности, биотехнологий и циркулярной экономики. Создание отраслевых цифровых платформ для управления природоподобными системами может стать точкой роста для российского ИТ-сектора. Ключевое значение имеет формирование технологических коридоров — скоординированное развитие нормативной базы, образовательных программ и инфраструктуры поддержки.

Институциональные меры должны включать создание специализированного фонда финансирования ИИ–ППТ-проектов с объемом капитализации 50–70 млрд руб., разработку отраслевых дорожных карт и запуск пилотных проектов в нефтегазовом секторе. Критически важным является формирование системы технических стандартов и сертификации природоподобных решений.

Реализация указанных мер позволит к 2030 г. обеспечить отечественными разработками до 40% рынка решений в области ППТ, создать 80–100 тыс. высокотехнологичных рабочих мест и снизить ресурсоемкость ВВП на 15–20%. Это создаст основу для устойчивого технологического суверенитета России в условиях глобальной трансформации экономики.

Проведены комплексный анализ данных Росстата о структуре инвестиций в основной капитал и динамике рынка ИТ-услуг, официальных показателей реализации программы «Искусственный интеллект» Минцифры России и отраслевых исследований РАЭК, зафиксировавших текущий рост рынка ИИ на уровне 22% годовых, а также оценка рыночного потенциала технологий ИИ и ППТ (табл. 1).

Таблица 1. Оценка рыночного потенциала технологий ИИ и ППТ
 Table 1. Assessment of the market potential of AI and NLT

Направление	Объем рынка в 2024 г., млрд руб.	Прогноз на 2030 г., млрд руб.	Темп роста, % в год
Интеллектуальные энергосистемы	120	450	25
Цифровые двойники	85	320	22
Умное ЖКХ	180	600	18
Промышленный симбиоз	45	200	28
Биотехнологии	95	350	20

Прогнозные значения сформированы с учетом целевых показателей Стратегии научно-технологического развития России и скорректированы на основе сравнительного анализа доли рынка ИИ к ВВП в развитых экономиках.

Заключение

По итогам проведенного исследования сделаны следующие основные выводы:

1. Определено, что ИИ выступает не просто инструментом, а системообразующим элементом в реализации парадигмы ППТ. ИИ служит интеграционной платформой для междисциплинарных знаний и является катализатором для создания сложных, адаптивных и устойчивых экономических, технических, технологических систем, имитирующих эффективность природных экосистем, способствуя созданию конкретных конкурентоспособных решений в различных отраслях экономики.
2. Проведен комплексный анализ, позволивший выявить ключевые проблемы в нескольких взаимосвязанных блоках: идентифицированы технологические риски, выражающиеся в критической зависимости от импорта вычислительной инфраструктуры и отставании в создании отечественного программного обеспечения для обучения нейросетей; выявлен дефицит междисциплинарных специалистов, сочетающих компетенции в области экологии, компьютерных наук и экономики; установлено, что регуляторные барьеры связаны с отсутствием стандартов и методик оценки эффективности, что блокирует включение решений в госзакупки и промышленные процессы; определены экономические риски, включая высокую капиталоемкость проектов и недостаточность объемов размеченных данных у российских компаний для обучения ИИ-моделей.
3. Разработана структурная модель, которая отражает, что интеграция ИИ и ППТ формирует новую экономическую реальность, характеризующуюся переходом к замкнутым производственным циклам, снижением ресурсоемкости ВВП и созданием новых рынков. На микроуровне доказана экономическая эффективность решений на основе ИИ–ППТ, выражающаяся в снижении операционных затрат на 15–30%, повышении производительности капитала и

формировании новых циркулярных бизнес-моделей. На мезоуровне выявлен потенциал создания рынков вторичных ресурсов с оборотом до 5% ВРП и повышения инвестиционной привлекательности регионов за счет развития промышленного симбиоза. На макроуровне обоснована стратегическая значимость связки ИИ–ППТ для обеспечения технологического суверенитета и структурной перестройки экономики.

4. На основе комплексного анализа данных Росстата о структуре инвестиций в основной капитал и динамике рынка IT-услуг, официальных показателей реализации программы «Искусственный интеллект» Минцифры России, а также отраслевых исследований РАЭК, оценен значительный рыночный потенциал сектора ИИ–ППТ, прогнозируемый к росту с 158 млрд руб. в 2024 г. до 450–600 млрд руб. к 2030 г.

Направления дальнейших исследований

Дальнейшие исследования будут сосредоточены на разработке методик оценки экономической эффективности природоподобных решений, анализе отраслевых эффектов внедрения и формировании системы подготовки кадров для цифровой экологической трансформации. Ускоренное развитие направления ИИ–ППТ является не только экологической необходимостью, но и стратегическим императивом для обеспечения долгосрочной конкурентоспособности российской экономики в условиях глобальной технологической трансформации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Авдейчик О.В. (2021) Интеллектуальное обеспечение стратегии Устойчивого социально-экономического развития. *Восточно-Европейский научный журнал*, 11 (75) (3), 22–30. DOI: <https://doi.org/10.31618/ESSA.2782-1994.2021.3.75.164>
2. Арзамасов Ю.Г. (2022) Комплексный подход к определению искусственного интеллекта. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Право*, 3 (50), 242–262. DOI: <https://doi.org/10.17308/law/1995-5502/2022/3/242-262>
3. Бойченко А.В., Лукинова О.В. (2018) Методологические аспекты целеполагания при переходе к цифровой экономике. *Открытое образование*, 22 (4), 74–83. DOI: <https://doi.org/10.21686/1818-4243-2018-4-74-83>
4. Вернадский В.И. (1944) Несколько слов о ноосфере. *Успехи современной биологии*, 18 (2), 113–120.
5. Гудяева Л.А. (2021) Оценка научно-инновационного потенциала Республики Татарстан в глобальном и национальном контекстах: наукометрическое позиционирование региона в технологических парадигмах Индустрий 4.0 и 5.0. *Теоретическая и прикладная экономика*, 4, 53–63. DOI: <https://doi.org/10.25136/2409-8647.2021.4.36949>
6. Гурен Т.В., Шамков А.Ю. (2023) Научный потенциал в обеспечении технологического суверенитета России. *Технико-технологические проблемы сервиса*, 3 (65), 63–72.
7. Жукова Т.И. (2021) Цифровые экосистемы: природоподобные технологии в корпоративной среде. *Восточно-Европейский научный журнал*, 1 (65) (3), 29–34.
8. Ильина И.Е., Дегтярев А.Н. (2024) СНТР-2.0. Триггеры и драйверы технологического суверенитета России. *Управление наукой и наукометрия*, 19 (3), 486–499. DOI: <https://doi.org/10.33873/2686-6706.2024.19-3.486-499>
9. Казначеев В.П. (2023) Учение В.И. Вернадского о ноосфере в связи с современными проблемами экологии человека. *Ноосферные исследования*, 4, 6–16. DOI: <https://doi.org/10.46724/NOOS.2023.4.06-16>
10. Куклина Е.А., Дементьев К.И. (2023) ESdiGital-трансформация российских нефтегазовых компаний: риски и оценки. *Управленческое консультирование*, 7 (175), 53–71. DOI: <https://doi.org/10.22394/1726-1139-2023-7-53-71>
11. Мацкуляк И.Д., Сапожникова Н.Т., Харчилава Г.П. (2019) Прорывная экономика: к теории управления изменениями экономических систем, *Управленец*, 10 (4), 75–84. DOI: <https://doi.org/10.29141/2218-5003-2019-10-4-7>

12. Поляков В.В. (2024) Природоподобные технологии как инновационный ответ на вызовы XXI века. *Экономика и экология территориальных образований*, 8 (3), 27–33. DOI: <https://doi.org/10.23947/2413-1474-2024-8-3-27-33>
13. Горбов Н.М., Горбова Т.М., Погонишев В.А., Погонишева Д.А. (2019) Природоподобное управление регионом с использованием технологии блокчейн. *Вестник Брянского государственного университета*, 1 (39), 168–173.
14. Развадовская Ю.В. (2021) Применение ресурсного подхода к исследованию параметров новой индустриализации экономики. *Экономическая наука современной России*, 4 (95), 20–35. DOI: [https://doi.org/10.33293/1609-1442-2021-4\(95\)-20-35](https://doi.org/10.33293/1609-1442-2021-4(95)-20-35)
15. Романова О.А., Сиротин Д.В. (2022) Базовые отрасли промышленных регионов России: образ будущего. *Journal of New Economy*, 23 (2), 9–28. DOI: <https://doi.org/10.29141/2658-5081-2022-23-2-1>
16. Яковлев Г.И. (2018) Развитие клиенториентированных стратегий предприятий в условиях цифровой экономики. *Территория науки*, 6, 141–147.
17. Barsegyan N.V., Galimulina F.F., Shinkevich A.I. (2025) Digital Transformation and Modeling of Nature-Inspired Systems. *Systems*, 13 (9), art. no. 793. DOI: <https://doi.org/10.3390/systems13090793>
18. Benyus J.M. (1997) *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*, New York: William Morrow.
19. Bertaglia T., Costa C.M., Lanceros-Méndez S., Crespilho F.N. (2024) Eco-friendly, sustainable, and safe energy storage: a nature-inspired materials paradigm shift. *Materials Advances*, 5 (19), 7534–7547. DOI: <https://doi.org/10.1039/d4ma00363b>
20. Chertow M.R. (2000) Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy. *Annual Review of Environment and Resources*, 25, 313–337. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.25.1.313>
21. Chin M.H.W., Linke J., Coppens M.-O. (2023) Nature-inspired sustainable medical materials. *Current Opinion in Biomedical Engineering*, 28, art. no. 100499. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cobme.2023.100499>
22. Dao V.-D., Nguyen H.T.K. (2024) Nature-inspired design for high-efficiency solar-driven water evaporation. *Journal of Power Sources*, 609, art. no. 234676. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2024.234676>
23. Gaitan N.C., Ungurean I., Corotinschi G., Roman C. (2023) An Intelligent Energy Management System Solution for Multiple Renewable Energy Sources. *Sustainability*, 15 (3), art. no. 2531. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15032531>
24. Goulart D.A., Pereira R.D. (2020) Autonomous pH control by reinforcement learning for electroplating industry wastewater. *Computers & Chemical Engineering*, 140, art. no. 106909. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2020.106909>
25. Kumar A., Jaiswal A. (2021) A Deep Swarm-Optimized Model for Leveraging Industrial Data Analytics in Cognitive Manufacturing. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17 (4), 2938–2946. DOI: <https://doi.org/10.1109/TII.2020.3005532>
26. Lebdioui A. (2022) Nature-inspired innovation policy: Biomimicry as a pathway to leverage biodiversity for economic development. *Ecological Economics*, 202, art. no. 107585. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107585>
27. McDonough W., Braungart M. (2002) *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*, New York: North Point Press.
28. Momenikorbekandi A., Kalganova T. (2025) Intelligent Scheduling Methods for Optimisation of Job Shop Scheduling Problems in the Manufacturing Sector: A Systematic Review. *Electronics*, 14 (8), art. no. 1663. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics14081663>
29. Oguntona O. (2025) Developing a Nature-Inspired Sustainability Assessment Tool: The Role of Materials Efficiency. *Materials Proceedings*, 22 (1), art. no. 3. DOI: <https://doi.org/10.3390/materials2025022003>
30. Rao R.V., Davim J.P. (2025) Single, Multi-, and Many-Objective Optimization of Manufacturing Processes Using Two Novel and Efficient Algorithms with Integrated Decision-Making. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 9 (8), art. no. 249. DOI: <https://doi.org/10.3390/jmmp9080249>
31. Selvam D.C., Devarajan Y. (2025) Bio-inspired hybrid materials for sustainable energy: Advancing bioresource technology and efficiency. *Materials Today Communications*, 46, art. no. 112647. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2025.112647>

32. Zhang L., Hu Y., Tang Q., Li J., Li Z. (2021) Data-Driven Dispatching Rules Mining and Real-Time Decision-Making Methodology in Intelligent Manufacturing Shop Floor with Uncertainty. *Sensors*, 21 (14), art. no. 4836. DOI: <https://doi.org/10.3390/s21144836>

REFERENCES

1. Avdeychik O. (2021) Intellectual support of the strategy of sustainable socio-economic development. *East European Scientific Journal*, 11 (75) (3), 22–30. DOI: <https://doi.org/10.31618/ES-SA.2782-1994.2021.3.75.164>
2. Arzamasov Yu.G. (2022) An integrated approach to the definition of the concept artificial intelligence. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Law*, 3 (50), 242–262. DOI: <https://doi.org/10.17308/law/1995-5502/2022/3/242-262>
3. Boychenko A.V., Lukinova O.V. (2018) Methodological aspects of goal-setting upon transition to digital economy. *Open Education*, 22 (4), 74–83. DOI: <https://doi.org/10.21686/1818-4243-2018-4-74-83>
4. Vernadskij V.I. (1944) Neskol'ko slov o noosfere [A few words about the noosphere]. *Uspekhi sovremennoj biologii* [Advances in modern biology], 18 (2), 113–120.
5. Gudyaeva, L.A. (2021) The assessment of the scientific and innovation potential of the Republic of Tatarstan in the global and national contexts: scientometric positioning of the region in the technological paradigms of the Industries 4.0 and 5.0. *Theoretical and Applied Economics*, 4, 53–63. DOI: <https://doi.org/10.25136/2409-8647.2021.4.36949>
6. Guren T.V., Shamkov A.Yu. (2023) Scientific potential in ensuring technological sovereignty of Russia. *Technical and technological problems of the service*, 3 (65), 63–72.
7. Zhukova T.I. (2021) Cifrovye ekosistemy: prirodoподобnye tekhnologii v korporativnoj srede [Digital Ecosystems: Nature-Like Technologies in the Corporate Environment]. *East European Scientific Journal*, 1 (65) (3), 29–34.
8. Degtyarev A.N., Ilina I.E. (2024) SSTD 2.0. Triggers and Drivers of Russia's Technological Sovereignty. *Science Governance and Scientometrics*, 19 (3), 486–499. DOI: <https://doi.org/10.33873/2686-6706.2024.19-3.486-499>
9. Kaznacheyev V.P. (2023) Teaching of V.I. Vernadsky about the noosphere in connection with modern problems of human ecology, *Noospheric Studies*, 4, 6–16. DOI: <https://doi.org/10.46724/NOOS.2023.4.06-16>
10. Kuklina E.A., Dementiev K.I. (2023) ESdiGital-Transformation of Russian Oil and Gas Companies: Risks and Assessments. *Administrative Consulting*, 7 (175), 53–71. DOI: <https://doi.org/10.22394/1726-1139-2023-7-53-71>
11. Matskulyak I.D., Sapozhnikova N.T., Kharchilava G.P. (2019) A breakthrough economy: On the theory of economic systems change management. *Upravlenets – The Manager*, 10 (4), 75–84. DOI: <https://doi.org/10.29141/2218-5003-2019-10-4-7>
12. Polyakov V.V. (2024) Nature-Like Technologies as an Innovative Feedback to the Challenges of the XXI Century. *Economy and Ecology of Territorial Formations*, 8 (3), 27–33. DOI: <https://doi.org/10.23947/2413-1474-2024-8-3-27-33>
13. Gorbov N.M., Gorbova T.M., Pogonyshev V.A., Pogonysheva D.A. (2019) Nature similar management of the region with use of blockchain technology. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Bryansk State University], 1 (39), 168–173.
14. Razvadovskaya Yu.V. (2021) Application of the New Resource Approach to the Study of the Parameters of the Industrialization Economy. *Economics of Contemporary Russia*, 4 (95), 20–35. DOI: [https://doi.org/10.33293/1609-1442-2021-4\(95\)-20-35](https://doi.org/10.33293/1609-1442-2021-4(95)-20-35)
15. Romanova O.A., Sirotin D.V. (2022) Basic industries of Russia's industrial regions: The image of the future. *Journal of New Economy*, 23 (2), 9–28. DOI: <https://doi.org/10.29141/2658-5081-2022-23-2-1>
16. Yakovlev G.I. (2018) Razvitie klientorientirovannyh strategij predpriyatij v usloviyah cifrovoj ekonomiki [Developing customer-centric enterprise strategies in the digital economy]. *Territoriya nauki* [Territory of Science], 6, 141–147.

17. Barsegyan N.V., Galimulina F.F., Shinkevich A.I. (2025) Digital Transformation and Modeling of Nature-Inspired Systems. *Systems*, 13 (9), art. no. 793. DOI: <https://doi.org/10.3390/systems13090793>
18. Benyus J.M. (1997) *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*, New York: William Morrow.
19. Bertaglia T., Costa C.M., Lanceros-Méndez S., Crespilho F.N. (2024) Eco-friendly, sustainable, and safe energy storage: a nature-inspired materials paradigm shift. *Materials Advances*, 5 (19), 7534–7547. DOI: <https://doi.org/10.1039/d4ma00363b>
20. Chertow M.R. (2000) Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy. *Annual Review of Environment and Resources*, 25, 313–337. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.25.1.313>
21. Chin M.H.W., Linke J., Coppens M.-O. (2023) Nature-inspired sustainable medical materials. *Current Opinion in Biomedical Engineering*, 28, art. no. 100499. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cobme.2023.100499>
22. Dao V.-D., Nguyen H.T.K. (2024) Nature-inspired design for high-efficiency solar-driven water evaporation. *Journal of Power Sources*, 609, art. no. 234676. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2024.234676>
23. Gaitan N.C., Ungurean I., Corotinschi G., Roman C. (2023) An Intelligent Energy Management System Solution for Multiple Renewable Energy Sources. *Sustainability*, 15 (3), art. no. 2531. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15032531>
24. Goulart D.A., Pereira R.D. (2020) Autonomous pH control by reinforcement learning for electroplating industry wastewater. *Computers & Chemical Engineering*, 140, art. no. 106909. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2020.106909>
25. Kumar A., Jaiswal A. (2021) A Deep Swarm-Optimized Model for Leveraging Industrial Data Analytics in Cognitive Manufacturing. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17 (4), 2938–2946. DOI: <https://doi.org/10.1109/TII.2020.3005532>
26. Lebdioui A. (2022) Nature-inspired innovation policy: Biomimicry as a pathway to leverage biodiversity for economic development. *Ecological Economics*, 202, art. no. 107585. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107585>
27. McDonough W., Braungart M. (2002) *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*, New York: North Point Press.
28. Momenikorbekandi A., Kalganova T. (2025) Intelligent Scheduling Methods for Optimisation of Job Shop Scheduling Problems in the Manufacturing Sector: A Systematic Review. *Electronics*, 14 (8), art. no. 1663. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics14081663>
29. Oguntona O. (2025) Developing a Nature-Inspired Sustainability Assessment Tool: The Role of Materials Efficiency. *Materials Proceedings*, 22 (1), art. no. 3. DOI: <https://doi.org/10.3390/materials-proc2025022003>
30. Rao R.V., Davim J.P. (2025) Single, Multi-, and Many-Objective Optimization of Manufacturing Processes Using Two Novel and Efficient Algorithms with Integrated Decision-Making. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 9 (8), art. no. 249. DOI: <https://doi.org/10.3390/jmmp9080249>
31. Selvam D.C., Devarajan Y. (2025) Bio-inspired hybrid materials for sustainable energy: Advancing bioresource technology and efficiency. *Materials Today Communications*, 46, art. no. 112647. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2025.112647>
32. Zhang L., Hu Y., Tang Q., Li J., Li Z. (2021) Data-Driven Dispatching Rules Mining and Real-Time Decision-Making Methodology in Intelligent Manufacturing Shop Floor with Uncertainty. *Sensors*, 21 (14), art. no. 4836. DOI: <https://doi.org/10.3390/s21144836>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

БАРСЕГЯН Наира Вартовна

E-mail: n.v.barsegyan@yandex.ru

Naira V. BARSEGYAN

E-mail: n.v.barsegyan@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1170-1251>

ШИНКЕВИЧ Алексей Иванович

E-mail: ashinkevich@mail.ru

Aleksey I. SHINKEVICH

E-mail: ashinkevich@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1881-4630>

Поступила: 12.09.2025; Одобрена: 20.10.2025; Принята: 20.10.2025.

Submitted: 12.09.2025; Approved: 20.10.2025; Accepted: 20.10.2025.