



Научная статья

4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)

УДК 664, 338.23 : 334

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.04.020

EDN:BJXZOR

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ ПРИРОДОПОДОБНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Ирина Николаевна Сычева ¹, Оксана Завеновна Енгоян ²,
Елена Николаевна Болховитина ³, Данил Дементьевич Ефрюшин ⁴

^{1,2,3,4} Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

¹ madam.si4eva2010@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9003-5845>

² Engoyan.OZ@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8985-4827>

³ elenaobraz@mail.ru

⁴ dsibh@mail.ru

Аннотация. Авторы рассматривают природоподобные технологии в контексте отдельных аспектов их взаимодействия в целостной социально-экономической системе. **Актуальность.** Разработка и внедрение природоподобных технологий (ППТ) являются одним из перспективных и приоритетных направлений, включенных в соответствующий перечень «Стратегии научно-технологического развития России». Задачи снижения современной нагрузки на экосистемы и в целом на социоприродные комплексы, которая все чаще оценивается как избыточная, а также развитие и поддержание устойчивой продовольственной системы требуют изменения подходов к организации хозяйственной деятельности. Эта задача является актуальной для достижения целей национальной безопасности в балансе с экономической эффективностью, экологической устойчивостью, опережающим научно-технологическим развитием страны в целом и обеспечением технологического лидерства России. **Результаты.** ППТ имеют ряд серьезных ограничений, хотя ниша их применения теснейшим образом связана с решением задач обеспечения безопасности (в первую очередь экологической), технологического суверенитета и лидерства. ППТ характеризуются экологической сбалансированностью. Авторами проведен SWOT-анализ различных факторов (внешних и внутренних), среди которых особенно выделяются научный потенциал, вопросы безопасности, а также различные аспекты технологического суверенитета и лидерства. **Выводы.** ППТ особенно актуальны в сельском и лесном хозяйстве для территорий с уязвимыми и/или нарушенными экосистемами. SWOT-анализ позволил выявить внутренние факторы (сильные и слабые) и внешние (возможности и угрозы). В то же время природоподобные технологии нуждаются в выработке ограниченного набора критерии.

Ключевые слова: природоподобные технологии (ППТ); SWOT-анализ; технологическое лидерство; экологическая безопасность; экономическая эффективность; продовольственные системы; каркас территории.

Благодарности: Исследование «Мезоэкономика. Каркасный подход» выполнено за счет гранта Российского научного фонда №23-28-00486, <https://rscf.ru/project/23-28-00486/>.

Для цитирования: Сычева И. Н., Енгоян О. З., Болховитина Е. Н., Ефрюшин Д. Д. Экономические аспекты внедрения природоподобных технологий // Ползуновский вестник. 2025. № 4, С. 120–124. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.04.020. EDN: <https://elibrary.ru/BJXZOR>.

Original article

ECONOMIC ASPECTS OF INTRODUCTION OF NATURAL-LIKE TECHNOLOGIES

Irina N. Sycheva ¹, Oksana Z. Engoyan ²,
Elena N. Bolkhovitina ³, Danil D. Efryushin ⁴

^{1,2,3,4} Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

¹ madam.si4eva2010@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9003-5845>

² Engoyan.OZ@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8985-4827>

³ elenaobraz@mail.ru

⁴ dsibh@mail.ru

Abstract. The authors consider nature-like technologies in the context of individual aspects of their interaction in an integrated socio-economic system. **Relevance.** The development and implementation of nature-like technologies (PPT) is one of the promising and priority areas for the development and implementation of nature-like technologies included in the relevant list of the Strategy for Scientific and Technological Development of Russia. The tasks of reducing the current burden on ecosystems and socio-natural complexes in general, which is increasingly being assessed as excessive, as well as the development and maintenance of a sustainable food system require a change in approaches to the organization of economic activities. This task is relevant for achieving national security goals in balance with economic efficiency, environmental sustainability, advanced scientific and technological development of the country as a

© Сычева И. Н., Енгоян О. З., Болховитина Е. Н., Ефрюшин Д. Д., 2025

whole, and ensuring Russia's technological leadership. **Results.** PPTs have a number of serious limitations, although the niche of their application is closely related to solving the problems of ensuring safety (primarily environmental), technological sovereignty and leadership. PPTs are characterized by ecological balance. The authors conducted a SWOT analysis of various factors (external and internal), among which scientific potential, security issues, as well as various aspects of technological sovereignty and leadership stand out. **Conclusions.** PPTs are particularly relevant in agriculture and forestry for areas with vulnerable and/or disturbed ecosystems. The SWOT analysis revealed internal factors (strengths and weaknesses) and external factors (opportunities and threats). At the same time, nature-like technologies need to develop a limited set of criteria.

Keywords: nature-like technologies (PPT/NLT); SWOT analysis; technological leadership; environmental safety; economic efficiency; food systems; territorial framework.

Acknowledgements: Research «Mesoeconomics. Framework approach» supported by a grant from the Russian Science Foundation № 23-28-00486, <https://rscf.ru/en/project/23-28-00486/>.

For citation: Sycheva, I.N., Engoyan, O.Z., Bolkhovitina, E.N. & Efryushin, D.D. (2025). Economic aspects of introduction of natural-like technologies. *Polzunovskiy vestnik*, (4), 120-124. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.04.020. EDN: <https://elibrary.ru/BJXZOR>.

ВВЕДЕНИЕ

Современная нагрузка на экосистемы и в целом на социоприродные комплексы все чаще оценивается как избыточная, что требует изменения подходов к организации хозяйственной деятельности [1, 2]. Эта задача является актуальной для достижения целей национальной безопасности в балансе с экономической эффективностью и опережающим научно-технологическим развитием страны в целом. Одним из перспективных и приоритетных направлений является разработка и внедрение природоподобных технологий [3], включенных в соответствующий перечень «Стратегии научно-технологического развития России» [4]. При этом природоподобные технологии понимаются как «воспроизводящие системы и процессы живой природы в виде технических систем и технологических процессов, интегрированных в природную среду и естественный природный ресурсооборот» [там же, п. 21]. В то же время природоподобные технологии (ППТ) сегодня не имеют четких критериев, за исключением приведенного выше довольно общего определения. В первом приближении такие технологии обнаруживаются в сельском и лесном хозяйстве [5, 6], пищевой промышленности (например, в технологиях заготовки сырья – сушке, вялении, заморозке и проч. [7, 8, 9]), а также в сфере утилизации отходов [10–13].

В работе использованы выборочные публикации в научных и учебных изданиях, в которых затрагиваются отдельные аспекты природоподобия при разработке технологий.

Целью статьи является рассмотрение экономических аспектов природоподобных технологий. К задачам следует отнести: 1) проведение SWOT-анализа; 2) обоснование ключевых подходов к социально-экономической оценке природоподобных технологий.

МЕТОДЫ

Авторы статьи используют методы контекстного анализа [14], в частности SWOT-анализ.

Природоподобные технологии рассматриваются в контексте взаимосвязей производств, технологий и в целом социоприродного комплекса с параметрами территориальной экосистемы, микро-, мезо- и макроэкономического уровней, при этом решается задача обеспечения технологического лидерства и суверенитета страны.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Природоподобные технологии, хотя и имитируют естественные процессы, но в строгом смысле слова ими не являются, так как носят целенаправленный

(иногда принудительный) характер. Например, технологии регулирования поверхностного стока путем формирования линейных и очаговых древесных и кустарниковых массивов. Кроме того, так как целью любых технологий, по сути, является оптимизация производственных процессов, изменение времени, затрачиваемого на получение желаемых результатов, – один из важных аспектов при разработке и применении природоподобных технологий. В этом случае, как правило, речь идет об ускорении процессов [15]. Здесь можно привести примеры технологий ускорения сбраживания в пищевой промышленности или использование (культивирование) специфических бактерий (или других живых организмов) для переработки отходов.

Вторым важным аспектом является ограничение объемов производимой продукции (рост удельных расходов), возникающие вследствие регламентирования антропогенного воздействия на первичные ресурсы (включая земельные). Так, природоподобие в сельском хозяйстве предполагает отказ и/или ограничение на использование химических удобрений, что приводит к необходимости расширения посевных площадей для получения аналогичного объема урожая. Утилизация отходов биологическими методами (включая получение биогаза без пиролиза) требует капитальных сооружений для организации таких процессов.

Условно можно (не斯特ого) выделить две группы ППТ: для одной характерно воспроизведение природных процессов, для другой – интеграция технологий в естественный ресурсооборот. При этом общие принципы касаются трех аспектов производства: вход ресурсов в жизненный цикл продукции, характер собственно производственного процесса (воспроизведение/имитация природных процессов и/или интеграция), выход (вывод) из жизненного цикла продукции.

На сегодняшнем этапе развития ППТ как направления «Стратегии научно-технологического развития» [4] можно выделить пять условных научных тематик: нанотехнологии (см., например, [16, 17]), биотехнологии [6, 9], информационные, когнитивные и социогуманитарные технологии [18, 19].

В первом приближении место и взаимосвязи природоподобных технологий можно представить общей схемой (рис. 1).

На развитие ППТ как стратегического направления влияет множество факторов. Среди ключевых – упомянутые выше скорость процессов, протекающих в рамках ППТ, и рост удельных расходов. Исходя из вышеизложенного, предварительная группировка факторов, влияющих на развитие природоподобных технологий, представлена в форме SWOT-анализа в таблице 1.

ПРИРОДОПОДОБНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ



Рисунок 1 – Природоподобные технологии / Figure 1 – Nature-like technologies

Таблица 1 – Природоподобные технологии, SWOT-анализ / Table 1 – Title of the table

Внутренние факторы	
Сильные	Слабые
<ul style="list-style-type: none"> - наличие научных заделов и высокий уровень квалификации научных сотрудников; - высокий уровень и потенциал инновационности; - природно-ресурсный потенциал территорий; - поддержка ППТ на государственном уровне; - наличие загрязненных территорий 	<ul style="list-style-type: none"> - ограниченность антропогенного/технологического воздействия на первичные ресурсы (земля/почвы, сырье), а также на промежуточные продукты производства; - неопределенность критериев отнесения технологии к природоподобным; - слабая связь науки и производства; - отсутствие междисциплинарных специалистов; - отсутствие стандартов и сложность сертификации; - ментальный барьер: «техносфера против биосферы»
Внешние факторы	
Возможности	Угрозы
<ul style="list-style-type: none"> - глобальный тренд на устойчивое развитие и «зеленую экономику»; - формирование новых международных рынков (циркулярная экономика, рынок водорода); - потенциал платежеспособного спроса – запрос общества на экологичность (при соответствующей маркетинговой политике); - участие в конкурсах/тендерах (госзакупки/госзаказ, грантовые программы); - глобальный экологический кризис как драйвер; - рост населения и продовольственный кризис; - возможность занять нишу в глобальных цепочках создания стоимости 	<ul style="list-style-type: none"> - глобальная технологическая конкуренция; - технологические санкции и ограничения; - технологическое отставание; - торможение научно-технического прогресса (за счет ограничений антропогенного воздействия на сырье и материалы); - формирование невыгодных для России международных правил и стандартов; - риски нарушение природного баланса (за счет сдвига в сторону экстенсивности природопользования); - риски «симуляции» деятельности

Прокомментируем ряд факторов, включенных в матрицу SWOT-анализа.

Наличие научных заделов обеспечено тем, что Россия обладает сильными научными школами в сфере фундаментальных исследований в области химии, биологии, которые в первую очередь являются основой для разработки ППТ. Также в нашей стране есть серьезный потенциал в ряде прорывных направ-

лений, таких как биотехнологии (биокатализ, биоремедиация и т.п.), водородная энергетика (производство водорода с помощью методов, аналогичных фотосинтезу), новые материалы (например, сверхпрочные материалы по аналогии с паутиной или раковиной моллюска), что свидетельствует о высоком уровне инновационности в данной сфере.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВНЕДРЕНИЯ ПРИРОДОПОДОБНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Россия обладает крупнейшими в мире запасами леса, воды, биоресурсов, а также разнообразными климатическими зонами и экосистемами, что является сырьевой и испытательной базой для развития ППТ.

Загрязнённые территории также являются полигонами для тестирования разработок ППТ (например, технологии рекультивации земель).

Помимо сильных сторон у данного стратегического направления научно-технологического развития есть и слабые стороны, среди которых стоит, прежде всего, выделить слабую связь между наукой и производством. Это проявляется в том, что фундаментальные исследования редко доходят до стадии коммерциализации. Фундаментальные исследования в институтах есть, площадки для испытаний на производствах тоже есть, но при этом между ними существует огромный разрыв – нет инфраструктуры для пилотных испытаний и вывода технологий на рынок. Промышленность часто не готова к инвестированию в высокорисковые ППТ.

Еще одной слабой стороной является медленная адаптация системы образования под новые вызовы. На данный момент мы готовим специалистов в определенных сферах (химии, энергетике, биологии и т.п.), однако зачастую они не способны работать на стыке дисциплин. Плохо проработано нормативно-правовое поле, что также осложняет процесс развития данного направления.

Консервативное управленческое и инженерное мышление, которое проявляется в доминировании парадигмы: задача техносферы – покорять и подчинять природу, а не встраиваться в нее, что также тормозит развитие ППТ. Смена этой парадигмы – сложный и длительный процесс.

Анализ сильных и слабых сторон показывает нам наличие выраженного внутреннего конфликта: с одной стороны, Россия обладает уникальным научно-инновационным потенциалом для разработки внедрения ППТ, с другой, – существуют явно выраженные структурные и системные слабости экономики и институтов.

Анализ данного направления с позиции «возможностей» и «угроз» выявил, что ППТ идеально вписываются в мировую повестку, связанную с экологичностью и «зеленой экономикой», что явно поддерживает их развитие. Для России это отличный шанс создать новые несырьевые высокотехнологичные отрасли и снизить зависимость от экспорта углеводородов. Стоит отметить, что сегодня формируются новые секторы экономики, где ППТ будут являться ключевыми технологиями:

- растет спрос на переработку отходов в продукты с добавленной стоимостью (циркулярная экономика);
- формируется рынок «зеленого» водорода, за счет роста спроса в Европе и Азии. Российские разработки в этой области могут найти свою нишу.

Потребители в мире все чаще выбирают товары, произведенные с минимальным ущербом для природы, особенно если это не слишком повышает их стоимость. Этот тренд является драйвером для развития, создавая рыночные преимущества для компаний, использующих ППТ.

Проявление экологического кризиса в виде природных катализмов, загрязнение океанов пластиком и потеря биоразнообразия также подталкивает правительства разных стран к поиску новых подходов ведения хозяйства, одним из которых являются ППТ.

Рост населения требует революционных решений в агропромышленном комплексе, например формирование и/или внедрение практик устойчивого природопользования. Для России это шанс стать одним

из мировых лидеров в области устойчивого и эффективного производства продовольствия.

Внешние угрозы создают для российских ППТ ряд значимых рисков:

- мировые центры силы, такие как США и Китай, также уже определили приоритеты в данной и смежных областях, выделяют на это финансирование, формируют университетские кластеры, что значительно обостряют конкуренцию;

- технологическое отставание в некоторых областях только усиливает снижение конкурентоспособности наших ППТ с позиции цены и производительности;

- санкции ограничивают обмен научными знаниями с зарубежными исследователями, доступ к изучению прикладных разработок за рубежом, критически важным компонентам ППТ импортного производства, дорогостоящему исследовательскому оборудованию, что тормозит развитие;

- сложности со стандартизацией и патентование на международном рынке делает наши разработки уязвимыми для копирования и снижают доступность международных рынков из-за сложности прохождения барьеров сертификации;

- трансграничное углеродное дискриминирующее регулирование также является угрозой;

- угрозой является и то, что концепция ППТ может превратиться в модный «buzzword», под который будут просто переименовывать существующие проекты для получения финансирования, без реальных прорывных результатов.

Таким образом, развитие данного стратегического направления требует устранения выявленного внутреннего конфликта, а также понимания того, что нельзя ориентироваться только на внутренний рынок, нужно обязательно проводить сложную дипломатическую и экономическую работу по преодолению внешних барьеров, заключающихся в технологической и рыночной блокаде для наших ППТ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Природоподобные технологии имеют ряд серьезных ограничений, обусловленных (на данном этапе развития этого направления) формальным определением, данным в «Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» [4].

Ниша применения ППТ теснейшим образом связана с решением задач обеспечения безопасности (в первую очередь экологической), технологического суверенитета и лидерства. Экологическая сбалансированность на входе производственного процесса (изъятие ресурсов, например, сельхозпродукции с применением ППТ) и на выходе (утилизация отходов с применением ППТ) также является важным критерием для предприятий реального сектора экономики, учитываемых при выявлении узлов каркаса территории [20]. Отметим, ППТ в сельском и лесном хозяйстве особенно актуальны для территорий с уязвимыми и/или нарушенными экосистемами.

SWOT-анализ позволил выявить внутренние факторы (сильные и слабые) и внешние (возможности и угрозы). В то же время природоподобные технологии нуждаются в ограниченном наборе критериев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: арктическая зона, мерзлотные почвы – будущему России (сельское и лесное хозяйство)» / под редакцией Р.С.-Х. Эдельгериева и А.Л. Иванова. Том 4.

- М. : ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», 2024. 672 с. ISBN 9785869210944. С.186.
2. Егорова А.А., Мальцев Ю.Г., Банникова Е.С., Двинин Д.Ю. Экосистемный подход к сбалансированному региональному развитию // Вестник Челябинского государственного университета. 2022. № 6(464). С. 131–144. doi: 10.47475/1994-2796-2022-10614.
3. Указ Президента Российской Федерации от 02.11.2023 г. № 818 (Официальный интернет-портал правовой информации ([www.pravo.gov.ru](http://pravo.gov.ru)) от 02.11.2023 г., ст. 0001202311020021; Собрание законодательства Российской Федерации от 2023 г., № 45, ст. 8035) // [http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&firstDoc=1&lastDoc=1&nd=606500763](http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docview&page=1&print=1&nd=606037936&rdk=0&empire=.</p><p>4. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации // Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 28 февраля 2024 г. №145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» // <a href=).
5. Байбеков Р.Ф. Природоподобные технологии основа стабильного развития земледелия // Земледелие. 2018. № 2. С. 5–8. <https://cyberleninka.ru/article/n/prirodopodobnye-tehnologii-osnova-stabilnogo-razvitiya-zemledeliya?ysclid=mh00omjwp9569581256>.
6. Поляков В.В. Природоподобные технологии как инновационный ответ на вызовы XXI века. Экономика и экология территориальных образований. 2024;8(3):27-33. <https://doi.org/10.23947/2413-1474-2024-8-3-27-33>.
7. Методологический подход обоснования разработки обогащенных продуктов питания / Л.А. Маюровика [и др.] // Ползуновский вестник. 2025. №2, С. 7–14. doi: 10.25712/ASTU.2072- 8921.2025.02.001. EDN: <https://elibrary.ru/MFDHGN>.
8. Резниченко И.Ю., Мирошина Т.А. Разработка и оценка качества заварного полуфабриката специализированной направленности // Ползуновский вестник. 2025. №2, С. 94–99. doi: 10. 25712/ASTU. 2072- 8921.2025.02.014. EDN: <https://elibrary.ru/YPQQWH>.
9. Рябоконева Л.А., Пермякова Л.В., Сергеева И.Ю., Марков А.С. Флюидная экстракция как способ выделения, фракционирования биологически активных веществ // Ползуновский вестник. 2025. №3, С. 24–30. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.03.004. EDN: <https://elibrary.ru/MLZDFM>.
10. Хорошавин Л.Б. Основные технологии переработки промышленных и твердых коммунальных отходов : учеб. пособие / Л.Б. Хорошавин, В.А. Беляков, Е.А. Свалов ; науч. ред. А.С. Носков ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2016. 220 с. ISBN 978-5-7996-1747-9.
11. Гаджикеримов В.В., Белова О.Ю., Карелин Д.В. Природоподобные технологии очистки фильтрационных вод, образующихся на полигонах ТКО // Экономика строительства и природопользования № 2 (71) 2019. С. 67–76.
12. Тунакова Ю.А., Валиев В.С., Габдрахманова Г.Н. Оптимизация кислотной активации цеолита для использования в качестве сорбционного материала при очистке вод от металлов // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 181–185. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024. 04.027, EDN: <https://elibrary.ru/EJTJVF>.
13. Передерин Ю.В., Анзельм Е.Г., Усольцева И.О. Переработка торфа: современное состояние технологий // Ползуновский вестник. 2024. № 4. С. 173–180. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.04.026, EDN: <https://elibrary.ru/MULIZF>.
14. Елькина Е.Е., Кононова О.В., Прокудин Д.Е. Типология контекстов и принципы контекстного подхода в междисциплинарных научных исследованиях // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2019. Т. 15, № 1. С. 141–153. DOI: 10.25559/SITITO.15.201901.141-153.
15. Кокин А.В., Кокин А.А. Природоподобные технологии и сбалансированное природопользование в условиях современной экономики // Государственное и муниципальное управление. Ученые записки. 2020. № 1, С. 131–136. DOI: 10.22394/2079-1690-2020-1-1-131-136.
16. Белозеров В.В., Никулин М.А., Белозеров Вл.В. О социально-экономической оценке реинжиниринга техносфера с помощью «природоподобных технологий» // Нанотехнологии в строительстве. 2022. Т. 14, № 2. С. 119–136. <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2022-14-2-119-136>.
17. Марченкова М.А., Чапек С.В., Муханова Е.А., Солдатов А.В., Ковальчук М.В. Микрофлюидные процессы как элемент природоподобных технологий // Российские нанотехнологии, 2024, том 19, № 3, С. 386–389.
18. Жукова Т.И. Цифровые экосистемы: природоподобные технологии в корпоративной среде // East European Scientific Journal #1(65), 2021, С. 29–34.
19. Природоподобные технологии как ответ на новые глобальные вызовы [доклад М.В. Ковальчука, президента НИЦ «Курчатовский центр» на заседании Никитского клуба] // Никитский клуб. Цикл публичных дискуссий. Выпуск 102. М., 2020. 52 с.
20. Мезоэкономика. Каркасный подход : монография / Е.Н. Болховитина, О.З. Енгоян, Д.С. Робец [и др.]; под общ. ред. И.Н. Сычевой. Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2024. 175 с. URL : http://elib.altstu.ru/uploads/open_mat/2024/SychevaBolhovitina_Mezoeconomy_mono.pdf. ISBN 978-5-7568-1510-8.

Информация об авторах

И. Н. Сычева – доктор экономических наук, профессор кафедры «Менеджмент» АлтГТУ.

О. З. Енгоян – мис, главный специалист Института комплексных исследований Большого Алтая (АлтГТУ).

Е. Н. Болховитина – кандидат технических наук, доцент кафедры «Экономика» АлтГТУ.

Д. Д. Ефрюшин – кандидат химических наук, доцент кафедры «Химическая технология» АлтГТУ.

Information about the authors

I.N. Sycheva - is a Doctor of Economics, Professor at the Department of Management at the Polzunov Altai State Technical University.

O.Z. Engoyan - is a Junior Researcher and Chief Specialist at the Institute for Comprehensive Research of the Big Altai (Polzunov Altai State Technical University).

E.N. Bolhovitina - is a Candidate of Technical Sciences and Associate Professor at the Department of Economics at the Polzunov Altai State Technical University.

D.D. Efryushin - is a Candidate of Chemical Sciences and an Associate Professor at the Department of Chemical Technology at the Polzunov Altai State Technical University.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 07 июня 2025; одобрена после рецензирования 24 ноября 2025; принятая к публикации 28 ноября 2025.

The article was received by the editorial board on 07 June 2025; approved after editing on 24 Nov 2025; accepted for publication on 28 Nov 2025.