

## Технологические лидеры в российской экономике: оценка сдвига производственного фронта в 2019–2023 гг.

**Гасанов Магеррам Али оглы**

Д-р экон. наук, проф. Бизнес-школы  
ORCID: 0000-0003-0319-6566, e-mail: hursud1@yandex.ru

**Спицын Владислав Владимирович**

Канд. экон. наук, доц. Бизнес-школы  
ORCID: 0000-0002-8360-7590, e-mail: spitsin\_vv@mail.ru

**Спицына Любовь Юрьевна**

Канд. экон. наук, доц. Бизнес-школы  
ORCID: 0000-0002-3923-984X, e-mail: spicyna@tpu.ru

**Леонова Виктория Александровна**

Аспирант, ассист. Бизнес-школы  
ORCID: 0000-0002-9660-4356, e-mail: portenko1606@gmail.com

**Брагин Александр Дмитриевич**

Ст. преп. Отделения информационных технологий Инженерной школы информационных технологий и робототехники  
ORCID: 0000-0003-4148-4980, e-mail: bragin@tpu.ru

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, Ленина пр-т, 30, г. Томск, Россия

### Аннотация

Изучена динамика технологического фронта российских отраслей в 2019–2023 гг. в условиях внешних шоков – пандемии COVID-19 и санкционного давления 2022 г. В отличие от традиционных работ, основанных на DEA-анализе, мы применяем параметрический подход лог-лог квантильной регрессии, позволяющий оценить поведение технологических лидеров и сдвиг верхней границы производственных возможностей. Исследованы две модели: двухфакторная (капитал и труд) и трехфакторная (капитал, труд и материальные затраты), что позволило различать отдачу от капитала и труда и эффекты ресурсной адаптации. На основе данных российских предприятий (2019–2023 гг.) проведена отраслевая оценка технологического прогресса и коэффициентов эластичности факторов. Показано, что кризис 2020 г. вызвал краткосрочное снижение фронта с последующим восстановлением, тогда как шок 2022 г. привел к более длительному снижению технологического фронта, которые в большинстве отраслей не было преодолено в 2023 г. Трехфакторная модель выявила компенсирующую роль материалоотдачи в адаптации предприятий к внешним ограничениям. Наиболее устойчивый рост фронта наблюдается в информационно-технологическом секторе, в то время как наиболее глубокий спад отмечен в автомобильной промышленности. Полученные результаты исследования уточняют представления о механизмах технологического лидерства и адаптации российских отраслей в условиях внешних шоков.

**Ключевые слова:** технологические лидеры, технологический фронт, квантильная регрессия, техническая эффективность, технологический прогресс, внешние шоки, импортозамещение, структурная адаптация, технологическое суверенитет

**Финансирование.** Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научно-исследовательского проекта РНФ «Технологическое лидерство и цифровые технологии как ключевые факторы развития российского бизнеса в условиях экономической нестабильности: анализ и моделирование», проект № 25-28-00731, <https://rscf.ru/project/25-28-00731/>.

**Для цитирования:** Гасанов М.А., Спицын В.В., Спицына Л.Ю., Леонова В.А., Брагин А.Д. Технологические лидеры в российской экономике: оценка сдвига производственного фронта в 2019–2023 гг. // Управление. 2026. Т. 14. № 1. С. 37–50. DOI: 10.26425/2309-3633-2026-14-1-37-50



# Technological leaders: assessing production frontier in the Russian economy under external shocks (2019–2023)

**Magerram A. Gasanov**

Dr. Sci. (Econ.), Prof. at the Business School  
ORCID: 0000-0003-0319-6566, e-mail: hursud1@yandex.ru

**Vladislav V. Spitsyn**

Cand. Sci. (Econ.), Assoc. Prof. at the Business School  
ORCID: 0000-0002-8360-7590, e-mail: spitsin\_vv@mail.ru

**Lyubov Yu. Spitsyna**

Cand. Sci. (Econ.), Assoc. Prof. at the Business School  
ORCID: 0000-0002-3923-984X, email: spicyna@tpu.ru

**Victoria A. Leonova**

Postgraduate Student, Assistant at the Business School  
ORCID: 0000-0002-9660-4356, email: portenko1606@gmail.com

**Aleksandr D. Bragin**

Senior Lecturer at the Information Technology Department of the Engineering School of Information Technology and Robotics  
ORCID: 0000-0003-4148-4980, email: bragin@tpu.ru

National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenina prospekt, Tomsk 634050, Russia

---

## Abstract

---

The dynamics of technological frontier of Russian industries in 2019–2023 under the conditions of external shocks, such as the COVID-19 pandemic and the 2022 sanctions, has been studied. Unlike traditional DEA-based studies, the authors use a parametric approach based on log-log quantile regression to assess technological leaders' behavior and the shift in the upper bound of production capabilities. Two models have been studied: a two-factor model (capital and labor) and a three-factor model (capital, labor, and material costs), which allowed for the distinction between capital and labor returns and resource adaptation effects. Based on data from Russian enterprises (2019–2023), an industry-specific assessment of technological progress and factor elasticity coefficients has been conducted. It has been shown that the 2020 crisis caused a short-term decline in technological frontier, followed by recovery, while the 2022 shock led to a longer-lasting decline, which was not overcome in most industries in 2023. The three-factor model has revealed the compensatory role of material efficiency in enterprises adaptation to external constraints. The most sustained growth in frontier has been observed in the IT sector, while the deepest decline has been observed in the automotive industry. The research findings clarify the technological leadership mechanisms and Russian industries adaptation in the face of external shocks.

**Keywords:** technological leaders, technological frontier, quantile regression, technical efficiency, technological progress, external shocks, import substitution, structural adaptation, technological sovereignty

**Financing.** The study was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation within the framework of the RSF research project «Technological leadership and digital technologies as key factors for the development of Russian firms in the context of economic instability: analysis and modeling», project № 25-28-00731, <https://rscf.ru/project/25-28-00731/>.

**For citation:** Gasanov M.A., Spitsyn V.V., Spitsyna L.Yu., Leonova V.A., Bragin A.D. (2026). Technological leaders: assessing production frontier in the Russian economy under external shocks (2019–2023). *Upravlenie / Management (Russia)*, 14 (1), pp. 37–50. DOI: 10.26425/2309-3633-2026-14-1-37-50

---



## Введение / Introduction

Проблема технологического развития и формирования технологических лидеров приобретает особую значимость в периоды внешних шоков, когда устойчивость экономики определяется не только объемом доступных ресурсов, но и способностью отдельных отраслей и компаний сохранять и продвигать технологический потенциал. Для российской экономики 2019–2023 гг. этот период стал временем последовательных кризисных событий – пандемии COVID-19 (2020 г.) и санкционного шока (2022 г.), – которые радикально изменили условия доступа к технологиям, рынкам и капиталу. В таких условиях особое значение приобретают фирмы и отрасли, способные не просто удерживать позиции, а формировать и продвигать технологический фронт, выступая ядром технологического лидерства.

С точки зрения экономического анализа технологические лидеры – это субъекты, находящиеся на верхней границе производственных возможностей, которые не только эффективно используют передовые решения, но и способствуют сдвигу технологического фронта вперед. Этот фронт отражает совокупность лучших производственных практик и определяет границу максимально возможного выпуска при данном уровне ресурсов. Динамика его положения служит важным индикатором того, насколько быстро экономика адаптируется к внешним вызовам и насколько успешно формирует внутренние источники технологического роста.

В последние годы интерес к исследованию технологического фронта в промышленности существенно возрос. Традиционные подходы, основанные на методе анализа окружающей оболочки (англ. Data Envelopment Analysis, далее – DEA), позволяют оценивать уровень эффективности предприятий, однако чувствительны к выбросам и структуре выборки. Эти ограничения особенно значимы при анализе неоднородных отраслей и периодов экономических кризисов, когда дисперсия производственных показателей возрастает.

В настоящем исследовании для оценки технологической динамики используется квантильная регрессия лог-лог типа ( $\tau = 0,9$ ), которая позволяет аппроксимировать верхнюю границу распределения выручки предприятий, то есть технологический фронт, определяемый поведением наиболее эффективных фирм. В отличие от DEA этот метод обеспечивает устойчивость оценок при наличии выбросов и разрывов в данных.

Для повышения достоверности результатов применены две модели, различающиеся составом входных факторов. Первая модель включает капитал и труд,

что соответствует классическому подходу к оценке производственных возможностей, вторая дополняется материальными затратами, что дает возможность оценить влияние ресурсных и сырьевых ограничений, усилившихся в 2022–2023 гг. Сопоставление двух моделей позволяет выявить, в какой мере динамика технологического фронта обусловлена изменениями эффективности использования основных факторов производства и какова роль материалоотдачи в процессе адаптации предприятий к внешним шокам.

Использование квантильной регрессии на уровне предприятий обеспечивает более точную интерпретацию изменений технологической эффективности: сдвиг фронта трактуется как результат улучшения практик у технологических лидеров, а изменение эластичностей – как отражение структурных сдвигов в производственных функциях отраслей. Это делает методологию применимой для мониторинга технологического развития и формирования целевых мер промышленной политики в посткризисный период.

Цель настоящего исследования заключается в выявлении закономерностей смещения технологического фронта российских отраслей в 2019–2023 гг. и определении факторов, влияющих на динамику технологической эффективности предприятий в условиях внешних шоков. Объектом исследования выступают отрасли обрабатывающей промышленности и высокотехнологичные отрасли сферы услуг, ориентированные на внутренний рынок и импортозамещение (фармацевтическая промышленность, машиностроение, автомобильная промышленность, сектор информационных технологий). Для них шоки 2020 г. и 2022 г. стали серьезным вызовом и толчком к ускоренному наращиванию производственных возможностей. Главная цель этих секторов – сохранение и расширение выпуска, а также снижение зависимости от импорта комплектующих и технологий.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- сформировать методологическую основу анализа технологического фронта на базе лог-лог квантильной регрессии и обосновать ее преимущества по сравнению с традиционными DEA-моделями;
- оценить смещение технологического фронта (ТС) в отраслевом разрезе для двух моделей: с двумя факторами (капитал и труд) и с тремя (капитал, труд и материальные затраты);
- исследовать динамику коэффициентов эластичности факторов производства и определить какие ресурсы обеспечивали смещение фронта в разные периоды;
- выделить группы отраслей по типу технологической динамики и сформулировать рекомендации,

способствующие укреплению технологической устойчивости и адаптации отраслей к внешним ограничениям.

Исследование направлено на выявление закономерностей и механизмов технологического развития отраслей Российской Федерации (далее – РФ, Россия) в условиях внешних шоков с акцентом на источниках сдвига технологического фронта и роли предприятий-технологических лидеров в этом процессе. Результаты анализа позволяют не только оценить текущее состояние технологического лидерства, но и предложить направления для промышленной и инновационной политики, ориентированной на поддержание долгосрочного технологического роста.

Сравнение двух спецификаций моделей (двух- и трехфакторной) обеспечивает возможность разделить эффекты от труда и капитала и эффекты ресурсной адаптации, а также количественно оценить вклад капитала, труда и материальных затрат в смещение производственного фронта. Таким образом, исследование вносит вклад в развитие инструментов анализа технологической динамики и предоставляет новую эмпирическую основу для оценки адаптивности российских отраслей в условиях внешних шоков и посткризисных периодов на отрезке 2019–2023 гг.

### **Технологическое лидерство в условиях внешних шоков и геополитической напряженности / Technological leadership in the face of external shocks and geopolitical tensions**

Период 2019–2023 гг. стал временем глубокой трансформации российской экономики под воздействием внешних шоков и роста политической напряженности. Пандемия COVID-19, последовавшие логистические и финансовые ограничения, а затем санкционный кризис 2022 г. резко изменили условия функционирования предприятий, ограничив доступ к технологиям, капиталу и внешним рынкам. В этих условиях технологическое развитие перестало быть лишь вопросом инновационной активности – оно превратилось в ключевой фактор экономической устойчивости и адаптивности национальной экономики [Зубаревич, 2025; Малкина, 2025].

Актуальность изучения технологического лидерства в этот период определяется тем, что традиционные механизмы роста – импорт технологий, заимствование оборудования и участие в глобальных цепочках добавленной стоимости – оказались ограниченными. Компании и целые отрасли вынуждены были формировать новые технологические траектории на основе внутренних ресурсов, что потребовало переосмысления

структуры технологического лидерства. Как отмечают О.Е. Гудкова и М.А. Джоробаева, технологическая политика России в условиях санкций приобрела направленность на обеспечение технологического суверенитета и независимости критических отраслей, что сделало технологическое лидерство не только экономическим, но и институциональным феноменом [Гудкова, 2024; Джоробаева, 2024].

С экономической точки зрения технологическое лидерство в таких условиях можно рассматривать в двух измерениях. Первое – экспортноориентированные лидеры, чья цель заключалась в удержании зарубежных рынков и оптимизации издержек в условиях неопределенности. Второе – лидеры импортозамещения, ориентированные на быстрое восстановление внутренних производственных цепочек и наращивание выпуска продукции взамен вышедшего из оборота импорта. Эти два вектора определили разные модели технологического поведения и сдвига производственного фронта.

В условиях внешних ограничений традиционные экспортноориентированные технологические лидеры (предприятия нефтегазового комплекса, металлургии, угольной промышленности) столкнулись с необходимостью переориентации потоков и сдерживания издержек, что ограничило их инновационную активность. Для них период кризисов стал временем переоценки затрат и технологических рисков: приоритет отдавался решениям, поддерживающим конкурентоспособность за счет энерго- и ресурсной эффективности, снижения себестоимости, цифровизации и логистической устойчивости.

Одновременно сформировалась новая группа лидеров – лидеры импортозамещения, чье развитие стало ответом на разрыв технологических и производственных цепочек [Гудкова, 2024; Курбатова, 2023]. Лидеры импортозамещения представлены в первую очередь отраслями обрабатывающей промышленности – фармацевтикой, машиностроением, производством пластмасс и транспортных средств, а также ИТ-сектором (ИТ – информационные технологии) сферы услуг. Для них шоки 2020 г. и 2022 г. стали толчком к ускоренному наращиванию производственных возможностей. Главная цель этих секторов – быстрое воспроизводство выпуска и снижение зависимости от импорта комплектующих и технологий. Экономическая роль таких лидеров в период кризисов – формирование новых точек технологического роста внутри страны. Для них технологическое лидерство выражается не столько в глобальной конкурентоспособности, сколько в способности быстро воспроизводить критические технологии и производственные мощности внутри страны.

Экономическая значимость таких лидеров заключается в том, что именно они обеспечивают восстановление производственных контуров, формируют внутренний спрос на инженерные и цифровые решения, а также создают технологическую базу для долгосрочного роста. Их поведение отражает специфику российской модели адаптации к внешним шокам: акцент смещается с экспорта на внутренние инновационные цепочки, от сбережения конкурентных преимуществ – к созданию новых. Как показывает анализ современных публикаций, именно секторы импортозамещения (фармацевтика, машиностроение, ИТ-сфера) становятся площадками формирования новых технологических компетенций и механизмов ускоренной локализации [Курбатова, 2023; Джоробаева, 2024].

В настоящей работе мы фокусируемся на исследовании отраслей экономики России, связанных с импортозамещением. Такой выбор обусловлен их ключевой ролью в структурной перестройке экономики. Во-первых, они выступают носителями технологического прогресса в условиях ограниченного доступа к внешним источникам инноваций. Во-вторых, эти отрасли демонстрируют наибольшую чувствительность к изменениям институциональной среды, что делает их удобной эмпирической базой для анализа динамики технологического фронта. Наконец, оценка их технологического лидерства позволяет выявить реальные механизмы формирования национального технологического суверенитета и устойчивого роста.

### **Концепция технологического фронта и ее роль в оценке технологического лидерства / Technological frontier concept and its role in assessing technological leadership**

Технологическое лидерство в условиях внешних шоков неразрывно связано с положением фирмы или отрасли относительно технологического фронта – границы, отражающей наилучшие доступные производственные технологии. Лидеры – это экономические субъекты, которые не только эффективно используют передовые решения, но и формируют саму границу технологических возможностей, продвигая ее вперед и задавая ориентиры развития для остальных участников рынка. В современной литературе технологический фронт рассматривается как ключевая категория анализа производственного потенциала и инновационной активности [Aparicio, Santin, 2025; Peykani, 2025].

В контексте 2019–2023 гг. особое значение приобретает оценка динамики технологического фронта в отраслевом разрезе, позволяющая выявить, где

наблюдается технологический прогресс (расширение фронта), а где – регресс (его сжатие). Последовательные внешние шоки – пандемия COVID-19, санкционные ограничения и разрыв международных цепочек поставок – усилили структурную неоднородность технологического развития, что требует эмпирического анализа не только уровня, но и направления движения фронта. В связи с этим основной задачей настоящего исследования является оценка динамики технологического фронта и выявление отраслей технологического прогресса и регресса в российской экономике в 2019–2023 гг.

С методологической точки зрения оценка технологического фронта может осуществляться различными способами. Наиболее распространенным инструментом является метод DEA и основанный на нем индекс Малмквиста, который позволяет разложить совокупное изменение производительности на эффект технической эффективности и технологического прогресса. Этот подход полезен при анализе граничных значений эффективности и определении технологических лидеров, однако он имеет ряд ограничений. DEA-модели являются непараметрическими и зависят от формы выборки: малейшие выбросы или нетипичные наблюдения могут существенно изменить конфигурацию фронта. Кроме того, метод не учитывает статистическую природу данных и не позволяет анализировать устойчивость оценок при наличии гетерогенности внутри отрасли [Jradi, Ruggiero, 2019].

В отличие от DEA лог-лог квантильная регрессия представляет собой параметрический способ оценки технологического фронта и технологических сдвигов [Papadopoulos, 2022]. Этот подход основан на предположении степенной зависимости между выпуском и производственными факторами и позволяет анализировать не только среднюю, но и распределенную структуру производственной функции [Fusco, 2022]. Использование логарифмирования обеспечивает интерпретацию коэффициентов как эластичностей, а применение квантильной регрессии – устойчивость оценок к выбросам и возможность изучения асимметрий технологического поведения фирм [Fukushige, 2022]. Таким образом, если DEA выявляет геометрическую границу эффективности, то лог-лог квантильная регрессия показывает функциональную зависимость между ресурсами и выпуском, отражая реальные закономерности технологического роста.

Еще одним преимуществом лог-лог квантильного подхода является его динамическая сопоставимость во времени и между отраслями [Papadopoulos, 2022]. Он позволяет оценивать изменение параметров производственной функции (в частности, коэффициента

технологического прогресса) и сравнивать эластичности по факторам труда, капитала и материальных затрат. В отличие от DEA, где фронтير может изменяться при каждом обновлении выборки или смене предприятий-лидеров, квантильная регрессия формирует более стабильную траекторию технологического сдвига и позволяет различать интенсивный рост (повышение отдачи факторов) и экстенсивное восстановление (увеличение использования ресурсов) [Jradi, Ruggiero, 2019; Fusco, 2022].

Применение лог-лог квантильной регрессии в настоящем исследовании обусловлено необходимостью повысить статистическую устойчивость результатов и получить количественно интерпретируемые оценки влияния факторов на движение технологического фронтiera в условиях высокой волатильности финансовых показателей предприятий. Такой подход обеспечивает согласование с неоклассической теорией роста (в частности, с функцией Кобба-Дугласа) и позволяет непосредственно оценить коэффициент технологического прогресса (далее – TC) как совокупный эффект изменений в эластичностях факторов и сдвига свободного члена производственной функции во времени [Fukushige, 2022].

**Модели и методика оценки динамики технологического фронтiera через квантильную регрессию / Models and methods for assessing the dynamics of technological frontier using quantile regression**

Для анализа динамики технологического фронтiera использовались лог-лог квантильные регрессии, которые описывают зависимость выпуска от совокупности факторов производства. Квантильная регрессия аппроксимирует не геометрическую оболочку данных, а функциональную зависимость между выпуском и факторами в верхней части распределения производительности (например, 90-й квантиль). Это делает оценки более устойчивыми к выбросам и позволяет сопоставлять технологические изменения во времени и между отраслями [Koenker, 2017; Papadopoulos, 2022; Fusco, 2022].

В исследовании применяются две спецификации лог-лог квантильной регрессии:

- двухфакторная модель (капитал и труд) отражает классическую производственную функцию Кобба-Дугласа, позволяющую выделить эластичности по основным факторам роста;
- трехфакторная модель (капитал, труд, материальные затраты) расширяет базовую спецификацию за счет учета ресурсов, отражающих технологическую и импортную зависимость отраслей, а также позволяет уточнить механизм адаптации предприятий в кризисные периоды.

Сравнение двухфакторной и трехфакторной моделей представлено в табл. 1.

Таблица 1

**Сравнение двухфакторной и трехфакторной моделей технологического фронтiera**

Table 1. Comparison of two-factor and three-factor models of technological frontier

Характеристика	Двухфакторная модель	Трехфакторная модель
Переменные	Капитал (K), труд (L)	Капитал (K), труд (L), материальные затраты (M)
Функциональная форма	$\ln Y = \alpha + \beta_1 \ln K + \beta_2 \ln L + \varepsilon$	$\ln Y = \alpha + \beta_1 \ln K + \beta_2 \ln L + \beta_3 \ln M + \varepsilon$
Интерпретация	Эффективность базовых факторов производства	Эффективность полного производственного цикла
Применение	Измерение технологической эффективности труда и капитала	Измерение влияния ресурсной и импортной зависимости
Чувствительность к кризисам	Выше (реагирует на спады загрузки труда и капитала)	Ниже (компенсация за счет материальных ресурсов)

Составлено авторами по материалам исследования / Compiled by the authors on the materials of the study

Формальная спецификация моделей и методика оценки динамики фронтiera выглядит следующим образом. Для предприятия *i* в году *t* производственная функция оценивается в лог-лог форме:

$$\ln Y_{it} = \alpha_t + \sum_{j=1}^m \beta_{jt} \ln X_{jit} + \varepsilon_{it}, \quad (1)$$

где *m* – число факторов в зависимости от модели, *Y<sub>it</sub>* – выпуск, *X<sub>jit</sub>* – факторы производства,  $\alpha_t$  – временной сдвиг фронтiera,  $\beta_{jt}$  – эластичности факторов,  $\varepsilon_{it}$  – стохастический остаток.

Параметры оцениваются по квантильной регрессии:

$$\hat{\theta}_\tau = \arg \min_{\theta} \sum_{i,t} \rho_\tau(y_{it} - x'_{it} \theta), \quad (2)$$

где  $\rho_\tau(u) = u(\tau - I(u < 0))$ .

Выбор  $\tau = 0,9$  означает, что регрессия описывает поведение примерно 10 % лучших фирм, которых мы относим к технологическим лидерам и на основе которых формируется оценка технологического фронтiera.

Динамика фронтiera измеряется индексом технологического прогресса:

$$TC_{t,t+1} = \exp(E_{xb}[\hat{q}_{t+1}(x_b) - \hat{q}_t(x_b)]), \quad (3)$$

где  $\hat{q}_t(x_b)$  – предсказанное значение логарифма выпуска для фиксированного распределения факторов базового года *b*.

Если  $TC_{(t,t+1)} > 1$ , наблюдается технологический прогресс (фронтир сдвигается вверх). Если  $TC_{(t,t+1)} < 1$ , происходит технологический регресс. Кумулятивный показатель  $TC_{b,t} = \prod_{k=b}^{t-1} TC_{k,k+1}$  характеризует общий сдвиг фронта за весь период.

Интерпретация эластичностей. Каждый коэффициент  $\beta_{jt}$  отражает вклад соответствующего фактора в выпуск:

- $\beta_1$  – эластичность по капиталу (капиталоотдача);
- $\beta_2$  – эластичность по труду (производительность труда);
- $\beta_3$  – эластичность по материальным затратам (материалоотдача).

Рост  $\beta_3$  в трехфакторной модели при снижении  $\beta_1$  и  $\beta_2$  свидетельствует о компенсации кризисных эффектов за счет рационализации использования сырья и материалов. Сопоставление результатов обеих моделей позволяет оценить структуру адаптационных механизмов предприятий.

Метод квантильной регрессии позволяет:

- учитывать неоднородность предприятий и асимметрии распределения эффективности;
- оценивать технологический фронтир устойчиво к выбросам и нестабильным наблюдениям;
- получать интерпретируемые коэффициенты эластичностей;
- проводить межвременные сравнения с высокой статистической согласованностью.

Выбор двух- и трехфакторных моделей обусловлен стремлением сбалансировать простоту интерпретации и полноту охвата производственных факторов. Такое сочетание позволяет выделить различия между технологическим прогрессом, связанным с улучшением производительности труда и капитала, и прогрессом, основанным на ресурсной адаптации.

### Эмпирическая база и особенности расчета технологического сдвига / Empirical basis and features of calculating technological shift

Эмпирической базой исследования послужили данные информационно-аналитической системы «СПАРК-Интерфакс», предоставляющей детализированную финансовую отчетность российских предприятий<sup>1</sup>. Использование данной базы обеспечивает высокую полноту выборки и сопоставимость показателей по годам, что критически важно для панельного анализа эффективности и динамики технологического фронта.

Для идентификации отраслевой принадлежности предприятий использовался Общероссийский классификатор видов экономической деятельности (ОКВЭД

<sup>1</sup> СПАРК. Режим доступа: <http://www.spark-interfax.ru/> (дата обращения: 19.10.2025).

2.0), позволяющий объединять фирмы по основным видам экономической деятельности. В выборку включены предприятия обрабатывающих и сервисных секторов, ориентированных на импортозамещение в условиях геополитической напряженности и экономических санкций (табл. 2).

Таблица 2

#### Характеристика выборки отраслей и предприятий

Table 2. Characteristics of the sample of industries and enterprises

ВЭД	Краткое название отрасли	Количество фирм в выборке
20	Химическая промышленность	396
21	Фармацевтика	132
22	Резиновые и пластмассовые изделия	510
26	Компьютерная техника и электроника	200
27	Электрооборудование	290
28	Машины и оборудование	544
29	Автотранспортные средства	191
30	Прочие транспортные средства	76
62	Разработка ПО	271
63	Информационные услуги	71
Полная выборка		2681

Примечание: ПО – программное обеспечение

Составлено авторами по материалам источника<sup>2</sup> / Compiled by the authors on the materials of the source<sup>2</sup>

Всего по каждой отрасли (ВЭД) включено в выборку от 71 до 544 фирм, что позволяет получить репрезентативные оценки при построении регрессионных моделей фронта. Полная выборка составила 2,681 тыс. предприятий (панельные данные, 13,405 тыс. наблюдений за пятилетний период).

Период анализа включает 2019–2023 гг., что позволяет охватить два крупных внешних шока – пандемию COVID-19 (2020 г.) и санкционный кризис (2022 г.), – а также периоды посткризисного восстановления. Все стоимостные показатели скорректированы на уровень инфляции и приведены в сопоставимых ценах 2019 г. для обеспечения корректности временных сопоставлений.

В качестве выходного показателя (англ. output) выбран объем выручки от реализации продукции и услуг, отражающий фактический экономический результат деятельности предприятия. Входными переменными (англ. inputs) выступают:

- стоимость основных производственных фондов, характеризующая капиталоемкость предприятия и отражающая используемый технологический потенциал;
- затраты на персонал (фонд оплаты труда), отражающие трудовой фактор и человеческий капитал организации;

<sup>2</sup> Там же.



Сопоставление двухфакторной и трехфакторной моделей показывает, что включение материальных затрат сглаживает колебания индекса ТС. Если в двухфакторной модели (капитал и труд) кризисные провалы выражены резко, то в трехфакторной они частично компенсируются за счет увеличения эффективности использования сырья и материалов. Это указывает на то, что в условиях шока предприятия сохраняли выпуск, оптимизируя материальные ресурсы и изменяя структуру издержек. Таким образом, трехфакторная модель фиксирует адаптационный потенциал экономики, а двухфакторная – чувствительность традиционных факторов к кризисам.

Оба подхода дополняют друг друга: первый отражает изменение «внутренней эффективности» производственных процессов, второй – структурные механизмы компенсации внешних ограничений.

В целом за период 2019–2023 гг. характерна циклическая траектория:

- 2019 г. – относительно стабильное положение фронта (допандемийный базис);
- 2020 г. – падение технологической эффективности, вызванное ограничениями и снижением загрузки мощностей;
- 2021 г. – восстановление и частичный рост производительности;
- 2022 г. – новое падение вследствие внешнеторговых и логистических шоков;

- 2023 г. – восстановление в трехфакторной модели на фоне структурной перестройки и импортозамещения, при этом в большинстве отраслей продолжает снижаться эффективность использования труда и капитала.

Кумулятивные изменения фронта за 2019–2023 гг. представлены на рис. 2.<sup>4</sup>

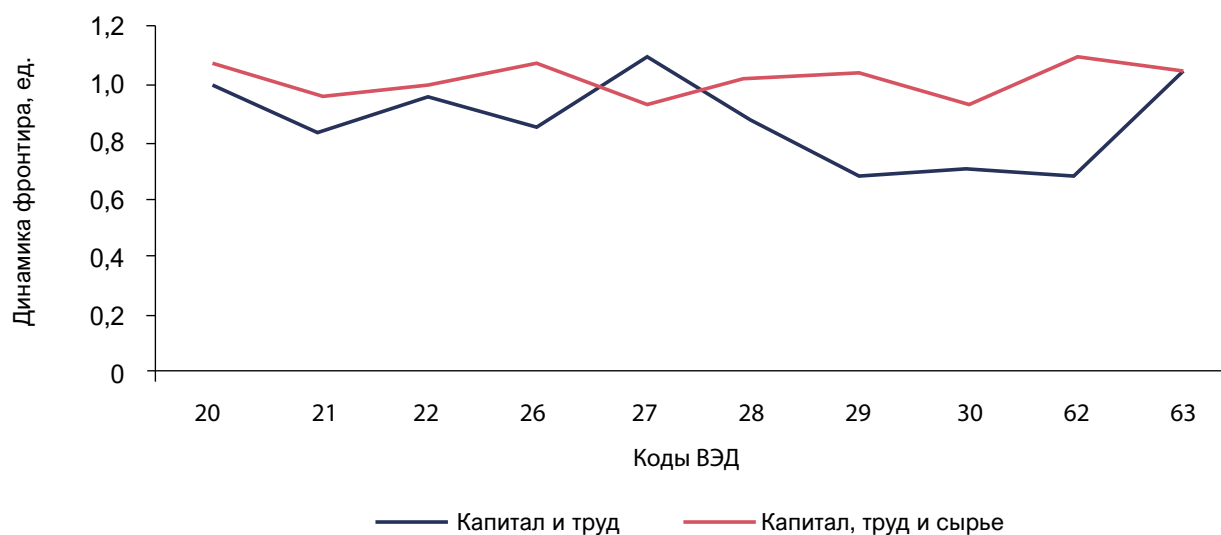
Визуализация расчетных данных подтверждает описанные выше закономерности:

- снижение технологического фронта (двухфакторная модель) в большинстве отраслей, причем наибольшее снижение фиксируется в ВЭД 29, 30, 62;
- сохранение стабильного уровня фронта практически во всех отраслях (трехфакторная модель), при этом отмечается рост фронта в ВЭД 62, 63.

В результате можно выделить три доминирующие тенденции:

- волнообразное поведение технологического фронта (двухфакторная модель) с чередованием спадов и адаптационных фаз, при этом адаптация технологических лидеров к шоку 2022 г. не была завершена в 2023 г.;
- попытка предприятий-технологических лидеров компенсировать снижение эффективности использования капитала и трудовых ресурсов за счет повышения материалоотдачи производства;

<sup>4</sup> СПАРК. Режим доступа: <http://www.spark-interfax.ru/> (дата обращения: 19.10.2025).



Составлено авторами по материалам источника<sup>4</sup> / Compiled by the authors on the materials of the source<sup>4</sup>

**Рис. 2.** Кумулятивные изменения фронта за 2019–2023 гг. в разрезе отраслей экономики России

Fig. 2. Cumulative changes in the frontier for 2019–2023 by Russian economic sector

• дифференциация динамики фронта в разрезе отраслей, которая будет детально исследована ниже.

Эти закономерности подтверждают наличие структурной перестройки технологического фронта в посткризисный период, когда факторы роста смещаются от капитала и труда к ресурсной оптимизации, инновациям и цифровизации производственных процессов.

### Классификация отраслей по типу динамики технологического фронта / Classification of spheres by the type of dynamics of technological frontier

Анализ отраслевой динамики проведен в табл. 3.

Классификация по табл. 3 подтверждает, что реакция отраслей на кризисы 2020 г. и 2022 г. не была однородной. Трехфакторная модель позволила выявить компенсирующую роль материальных ресурсов: во многих отраслях рост эффективности использования сырья частично нивелировал падение капитал- и трудоотдачи. Таким образом, устойчивость технологического фронта в посткризисный период определяется не только традиционными факторами, но и способностью предприятий гибко управлять

ресурсной структурой производства и осваивать новые технологические ниши.

Для углубленного понимания причин такой динамики фронта в разрезе отраслей квантильная регрессия предоставляет дополнительное преимущество – возможность оценки коэффициентов эластичности по каждому фактору (капитал, труд, сырье). Это позволяет не только фиксировать смещение фронта во времени, но и выявлять, за счет каких именно ресурсов происходило ускорение или замедление технологического развития отраслей. В следующем разделе рассматривается динамика эластичностей и структура производственных факторов, формирующих технологический фронт российских отраслей в 2019–2023 гг.

### Динамика коэффициентов эластичности факторов производства / Dynamics of elasticity coefficients of production factors

Динамику коэффициентов эластичности анализируем на примере двухфакторной модели, поскольку именно фронт по труду и капиталу показывал высокую волатильность в исследуемый

<sup>5</sup> СПАРК. Режим доступа: <http://www.spark-interfax.ru/> (дата обращения: 19.10.2025).

Таблица 3

Типы отраслевых реакций технологического фронта (2019–2023 гг.)

Table 3. Types of industry reactions of technological frontier (2019–2023)

Коды ВЭД	Тип динамики	ТС (капитал + труд)	ТС (капитал + труд + сырье)	Интерпретация
20	Циклический рост	0,977	1,057	Наблюдается восстановление после спада 2020 г., рост в 2023 г. обусловлен перераспределением сырьевых потоков и адаптацией к новым рынкам
21	Циклический спад	0,834	0,958	Падение эффективности в условиях существенного роста объема производства, трехфакторная модель лишь частично сглаживает спад
22	Умеренно устойчивый	0,956	1,007	Сохраняется близость к единице ТС – устойчивость к кризисам, быстрая адаптация логистики и переход на отечественные материалы
26	Восстанавливающийся	0,860	1,067	Цифровизация и импортозамещение стимулировали рост эффективности, особенно при учете материальных факторов
27	Умеренно устойчивый	1,098	0,934	В допандемийный период высокая капиталоемкость, но с 2022 г. падение из-за ограничений импорта и снижения поставок компонентов
28	Восстанавливающийся	0,868	1,021	Колебания фронта отражают фазы делового цикла: спад 2020–2022 гг. и восстановление 2023 г.
29	Шоковый спад с частичным восстановлением	0,688	1,040	Автомобилестроение испытало глубокий спад, но трехфакторная модель фиксирует адаптацию за счет перераспределения сырьевых ресурсов
30	Структурный спад	0,699	0,933	Производство прочих транспортных средств сохраняет отставание из-за потери поставщиков и высокой импортозависимости
62	Технологически спад/устойчивый рост	0,675	1,092	Сфера информационных технологий – лидер по росту ТС в трехфакторной модели, рост спроса на цифровые решения, импортозамещение программного обеспечения, переход на облачные платформы
63	Устойчивый рост	1,045	1,052	Стабильный рост ТС – развитие сервисных и информационных услуг, повышение отдачи от нематериальных активов.

Составлено авторами по материалам источника<sup>5</sup> / Compiled by the authors on the materials of the source<sup>5</sup>

временной период. Анализ коэффициентов эластичности, рассчитанных по лог-лог квантильной регрессии для  $\tau = 0,9$ , позволяет определить, какие ресурсы – капитал или труд – обеспечивали смещение технологического фронта в разные годы. Поскольку оценка проводится на верхнем квантиле распределения, коэффициенты  $\beta_1$  (капитал) и  $\beta_2$  (труд) отражают отдачу от факторов у наиболее эффективных предприятий-технологических лидеров, формирующих производственный фронт отрасли. Динамика коэффициентов  $\beta_1$  и  $\beta_2$  в разрезе отраслей представлена в табл. 4.

Динамика коэффициентов эластичности подтверждает структурные сдвиги в экономике России. Кризисные периоды сопровождались падением совокупной отдачи, а посткризисное восстановление шло через повышение трудоотдачи и частично капиталотдачи.

Особого внимания заслуживают отрасли ОКВЭД 21 (производство фармацевтической продукции) и ОКВЭД 62 (разработка программного обеспечения). Обе продемонстрировали снижение технологического фронта в двухфакторной модели (капитал и труд), несмотря на то что предприятия – технологические лидеры этих отраслей почти вдвое увеличили выручку за анализируемый период. Динамика коэффициентов

<sup>6</sup> СПАРК. Режим доступа: <http://www.spark-interfax.ru/> (дата обращения: 19.10.2025).

эластичности показывает снижение отдачи от капитала в 2021–2022 гг., что связано с интенсивным обновлением и расширением основных фондов. Рост выручки сопровождался экстенсивным типом развития: для достижения кратного увеличения выпуска предприятия-лидеры активно инвестировали в оборудование и расширяли занятость, что привело к временному снижению эффективности использования факторов и, следовательно, сдвигу фронта вниз. Поскольку инвестиционные и организационные процессы в этих отраслях еще не завершились к 2023 г., восстановление технологического фронта пока не наблюдается, несмотря на значительный прирост выручки.

### Выводы / Discussion

Полученные результаты позволяют расширить понимание механизмов технологического развития российских отраслей в условиях внешних шоков и институциональных ограничений. В отличие от традиционных представлений, согласно которым кризисы приводят к устойчивому снижению технологической эффективности, проведенный анализ показывает, что для российской экономики 2019–2021 гг. характерна адаптивная траектория фронта: период спада (2020 г.) сопровождался последующим ускорением технологического восстановления. Однако

Таблица 4

#### Отраслевые различия в динамике коэффициентов эластичности предприятий-технологических лидеров

Table 4. Industry differences in the dynamics of elasticity coefficients of technologically leading enterprises

Коды ВЭД	Динамика $\beta_1$ (капитал)	Динамика $\beta_2$ (труд)	Интерпретация
20	Умеренно растущая до 2022 г., затем стабилизация	Постепенное снижение с 0,56 до 0,44	Рост капиталотдачи не компенсирует падение эффективности труда, фронт снижается после 2021 г.
21	Нестабильная (рост в 2020 г., спад в 2021 г.)	Волатильная, рост после 2022	Экстенсивный рост производства в фармацевтике после шока 2020 г., восстановление эффективности труда в 2023 г.
22	Относительно стабильная (около 0,25)	Постепенное снижение	Стабильная технологическая структура, невысокая, но устойчивая отдача от факторов
26	Снижение до 2021 г., затем рост	Высокая, 0,63–0,83	Восстановление капиталотдачи, значительная роль труда, умеренно возрастающая отдача от масштаба
27	Рост до 2021 г., затем спад	Относительно стабильная	Колебания капиталотдачи отражают цикличность инвестиций, труд остается основным фактором
28	Рост до 2022 г., затем спад	Стабильная (0,55–0,66)	Повышение эффективности капитала в 2020–2021 гг., замедление в 2023 г.
29	Высокая в 2020–2021 гг., падение в 2022 г., восстановление в 2023 г.	Стабильная (0,46–0,60)	После шокового спада 2022 г. автопром компенсирует снижение капиталотдачи некоторым ростом трудоотдачи
30	Нестабильная, резкие колебания	Резкий рост (0,24 → 0,95)	Сдвиг к трудоемким технологиям, рост совокупной отдачи при низкой капиталоеффективности
62	Снижение, затем восстановление (0,15 → 0,31)	Незначительное снижение	ИТ-сектор (ИТ – информационные технологии), как и фармацевтика, реализует экстенсивный путь для быстрого увеличения объема продаж
63	Незначительные колебания	Устойчивый рост (0,62 → 0,96)	Высокая трудоотдача в сфере информационно-коммуникационных технологий и услуг – ключевой источник роста фронта

Составлено авторами по материалам источника<sup>6</sup> / Compiled by the authors on the materials of the source<sup>6</sup>

второй шок (2022 г.) оказался глубже и не позволил восстановить фронт по труду и капиталу в 2023 г.

Результаты квантильной регрессии подтверждают, что основные источники технологического прогресса в посткризисные периоды смещаются от капиталоемких отраслей к высокотехнологичному ИТ-сектору. Это согласуется с концепцией эндогенного технологического роста, согласно которой кризисы стимулируют внутренние инновации и перестройку производственных моделей [Cozzi, 2023]. В отечественных условиях эта перестройка принимает форму структурного импортозамещения и цифровизации, что соответствует тенденциям, описанным в работах исследователей [Гудкова, 2024; Курбатова, 2023].

Снижение технологического фронта в фармацевтике и разработке программного обеспечения обусловлено экстенсивным типом развития: для достижения кратного увеличения выпуска предприятия-лидеры активно инвестировали в оборудование и расширяли занятость, что привело к временному снижению эффективности использования факторов и, следовательно, сдвигу фронта вниз. В ближайшие годы предприятиям этих отраслей следует обратить внимание на повышение эффективности использования всех производственных ресурсов.

Отрасли с высокой зависимостью от импорта (ОКВЭД 29, 30) демонстрируют запаздывающее восстановление технологического фронта, что объясняется не столько снижением эффективности, сколько ограничениями в доступе к технологиям и комплектующим. Такая неоднородность подтверждает выводы о различиях в реакции отраслей на внешние шоки [Vorobeva, Shchelokova, 2025]. Российские данные показывают, что адаптационные возможности зависят от локализации технологических цепочек и способности предприятий замещать внешние ресурсы внутренними.

Переход к трехфакторной модели (с учетом материальных затрат) выявил, что ресурсная адаптация становится ключевым каналом технологического восстановления. В большинстве отраслей рост эффективности использования сырья и материалов компенсирует падение отдачи от капитала и труда. Это подтверждает тезис о формировании новой ресурсно-технологической парадигмы, когда производственный фронт расширяется не за счет технологических прорывов, а через переосмысление структуры затрат и повышение гибкости цепочек поставок.

Результаты исследования уточняют представления о поведении предприятий-технологических лидеров и динамике технологического фронта в условиях внешних шоков. Показано, что адаптация производственного фронта может происходить не только

через радикальные инновации, но и за счет институциональной гибкости, организационного обучения и оптимизации структуры факторов производства. Для промышленной политики это означает необходимость комплексного подхода к поддержке технологического развития – сочетания мер стимулирования прорывных инноваций с механизмами ресурсной и процессной адаптации, которые обеспечивают устойчивость и воспроизводимость технологического фронта в средне- и долгосрочной перспективах.

## Заключение / Conclusion

Проведенное исследование позволило проанализировать динамику технологического фронта российских отраслей в 2019–2023 гг. с использованием лог-лог квантильной регрессии на уровне предприятий-технологических лидеров. Предложенный подход сочетает преимущества параметрических моделей и методов анализа эффективности, обеспечивая устойчивые оценки сдвига фронта при сохранении интерпретируемости результатов.

Применение двух- (капитал и труд) и трехфакторной (капитал, труд и материальные затраты) моделей позволило выявить различия в реакциях отраслей на кризисные шоки 2020 г. и 2022 г. Показано, что технологический фронт российской экономики не имел линейной траектории снижения: периоды спада сменялись фазами восстановления и адаптации. При этом трехфакторная модель выявила компенсирующий эффект роста эффективности использования материальных ресурсов, что смягчало негативное влияние кризисов на совокупную производственную эффективность.

Полученные результаты подтвердили наличие разных типов траекторий технологического поведения отраслей, которые необходимо учитывать в государственной промышленной политике. В частности, выявлена траектория снижения фронта в результате экстенсивного роста выпуска в фармацевтике и разработке программного обеспечения. По мере исчерпания возможностей экстенсивного роста предприятиям-лидерам этих отраслей необходимо будет сфокусироваться на повышении эффективности использования труда и капитала и восстановления технологического фронта. Шоковая траектория снижения фронта фиксируется в производстве автомобилей и прочих транспортных средств. Здесь требуется участие государства в разработке механизмов поставки или замещения импортных комплектующих и развитии кооперации и совместных производств с дружественными странами.

В целом большинство отраслей российской экономики продемонстрировали способность к технологической адаптации, когда даже при внешних

ограничениях и кризисных шоках формируются новые модели роста. Ключевым фактором становится институциональная и организационная гибкость предприятий, позволяющая компенсировать недостаток внешних ресурсов внутренними резервами производительности.

С практической точки зрения результаты исследования подчеркивают необходимость многоуровневой промышленной политики, направленной не только на стимулирование радикальных инноваций, но и на поддержку процессов ресурсной и технологической адаптации. Это включает развитие инструментов

модернизации производственных мощностей, поддержку цифровизации, повышение квалификации работников и формирование среды для накопления технологических компетенций.

В долгосрочной перспективе применение квантовых методов для оценки производственных фронтов открывает возможности для более точного мониторинга технологических тенденций в промышленности и для разработки гибких мер структурной политики, ориентированных на повышение устойчивости и конкурентоспособности российской экономики.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гудкова, О. Е. Влияние международных технологических санкций на инновационное развитие национальной экономики России / О. Е. Гудкова // Экономика, предпринимательство и право. – 2024. – Т. 14, № 5. – С. 1753–1768. – DOI 10.18334/eppl.14.5.120948.
- Джоробаева, М. А. Роль импортозамещения в развитии российского фармацевтического рынка / М. А. Джоробаева // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2024. – Т. 14., № 3А. – С. 196–205.
- Зубаревич, Н. В. Влияние санкций на развитие регионов России в 2022–2024 годах / Н. В. Зубаревич // Журнал Новой экономической ассоциации. – 2025. – № 1 (66). – С. 274–281. – DOI 10.31737/22212264\_2025\_1\_274-281. – EDN SUZWO.
- Курбатова, А. С. Перспективы импортозамещения в российском секторе информационных технологий в условиях санкционного давления / А. С. Курбатова // Современная мировая экономика. – 2023. – Т. 1, № 4(4). – DOI 10.17323/2949-5776-2023-1-4-108-128.
- Малкина, М. Ю. Тенденции развития российской промышленности и ее отраслей в период новых антироссийских санкций / М. Ю. Малкина // Russian Journal of Economics and Law. – 2025. – Т. 19, № 3. – С. 524–544. – DOI 10.21202/2782-2923.2025.3.524-544.
- Aparicio, J., Santin, D. Global scale efficiency in data envelopment analysis / J. Aparicio, D. Santin // International Transactions in Operational Research. – 2024. – Vol. 32, No. 5. – Pp. 2474–2496. – DOI 10.1111/itor.13501.
- Cozzi, G. Semi-endogenous or fully endogenous growth? A unified theory / G. Cozzi // Journal of Economic Theory. – 2023. – No. 213. – DOI 10.1016/j.jet.2023.105732.
- Fukushige, M. Quantile regression approach for measuring production inefficiency by estimating the target and production technology of individual units / M. Fukushige // Asia-Pacific Journal of Regional Science. – 2022. – Vol. 6, No. 2. – Pp. 395–415.
- Fusco, E., Benedetti, R., Vidoli, F. Stochastic frontier estimation through parametric modelling of quantile regression coefficients / E. Fusco, R. Benedetti, F. Vidoli // Empirical Economics. – 2022. – Vol. 64, No. 2. – Pp. 869–896. – DOI 10.1007/s00181-022-02273-x.
- Jones, C. I. The Past and Future of Economic Growth: A Semi-Endogenous Perspective / C. I. Jones // Annual Review of Economics. – 2022. – Vol. 14, No. 1. – Pp. 125–152. – DOI 10.1146/annurev-economics-080521-012458.

## REFERENCES

- Aparicio, J., Santin, D. (2024). Global scale efficiency in data envelopment analysis. *International Transactions in Operational Research*, 32(5), 2474–2496. <https://doi.org/10.1111/itor.13501>
- Cozzi, G. (2023). Semi-endogenous or fully endogenous growth? A unified theory. *Journal of Economic Theory*, 213, 105732. <https://doi.org/10.1016/j.jet.2023.105732>
- Dzhorobaeva, M. A. (2024). The Role of Import Substitution in the Development of the Russian Pharmaceutical Market. *Economy: Yesterday, Today, Tomorrow*, 14(3A), 196–205. (In Russian).
- Fukushige, M. (2022). Quantile regression approach for measuring production inefficiency by estimating the target and production technology of individual units. *Asia-Pacific Journal of Regional Science*, 6(2), 395–415.
- Fusco, E., Benedetti, R., & Vidoli, F. (2022). Stochastic frontier estimation through parametric modelling of quantile regression coefficients. *Empirical Economics*, 64(2), 869–896. <https://doi.org/10.1007/s00181-022-02273-x>
- Gudkova, O. E. (2024). The Impact of International Technological Sanctions on the Innovative Development of the Russian National Economy. *Journal of Economy, Entrepreneurship and Law*, 14(5), 1753–1768. (In Russian). <https://doi.org/10.18334/eppl.14.5.120948>
- Jones, C. I. (2022). The Past and Future of Economic Growth: A Semi-Endogenous Perspective. *Annual Review of Economics*, 14(1), 125–152. <https://doi.org/10.1146/annurev-economics-080521-012458>
- Jradi, S., Ruggiero, J. (2019). Stochastic Data Envelopment Analysis: A Quantile Regression Approach to Estimate the Production Frontier. *European Journal of Operational Research*, 278(2), 385–393. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.11.017>
- Koenker, R. (2017). *Quantile Regression*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511754098>
- Kurbatova, A. S. (2023). Prospects for Import Substitution in the Russian IT Sector under Sanctions Pressure. *Modern World Economy*, 1(4). (In Russian). <https://doi.org/10.17323/2949-5776-2023-1-4-108-128>
- Malkina, M. Yu. (2025). Development Trends of Russian Industry and Its Sectors during New Anti-Russian Sanctions. *Russian Journal of Economics and Law*, 19(3), 524–544. (In Russian). <https://doi.org/10.21202/2782-2923.2025.3.524-544>
- Papadopoulos, A., Parmeter, C. F. (2022). Quantile Methods for Stochastic Frontier Analysis. *Foundations and Trends in Econometrics*, 12(1), 1–120. <https://doi.org/10.1561/08000000042>

- Jradi, S., Ruggiero, J. Stochastic Data Envelopment Analysis: A Quantile Regression Approach to Estimate the Production Frontier / S. Jradi, J. Ruggiero // *European Journal of Operational Research*. — 2019. — Vol. 278, No. 2. — Pp. 385–393. — DOI 10.1016/j.ejor.2018.11.017.
- Peykani, P., Soltani, R., Tanasescu, C., Shojaie, S. E., & Jandaghian, A. (2025). The Robust Malmquist Productivity Index. *Mathematics*, 13(11), 1727. <https://doi.org/10.3390/math13111727>
- Tone, K. (2004). Malmquist Productivity Index. In: *Handbook on Data Envelopment Analysis*. Springer.
- Vorobeva, D. V., Shchelokova, S. V. (2025). Strategic Changes in Russian Automotive Market (2018–2023). *The World of New Economy*, 19(2), 86–93. <https://doi.org/10.26794/2220-6469-2025-19-2-86-93>
- Zubarevich, N. V. (2025). The Impact of Sanctions on the Development of Russian Regions in 2022–2024. *Journal of the New Economic Association*, 1(66), 274–281. (In Russian). [https://doi.org/10.31737/22212264\\_2025\\_1\\_274-281](https://doi.org/10.31737/22212264_2025_1_274-281)