

Научная статья

<https://doi.org/10.21202/2782-2923.2024.3.641-662>

УДК 004.8:332.1:338(470+571)

JEL: L86, O3, P25, R1

Ю. А. Варламова¹,

Е. Н. Корнейченко²

¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия

² Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, Россия

Искусственный интеллект в российских регионах

Контактное лицо:

Варламова Юлия Андреевна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономической теории и эконометрики, Институт управления, экономики и финансов, старший научный сотрудник НОЦ по исследованию проблем развития рыночных отношений в условиях глобализации мировой экономики, Казанский (Приволжский) федеральный университет

E-mail: Julia.Varlamova@kpfu.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3255-9880>

Web of Science Researcher ID: J-5897-2016

eLIBRARY SPIN-код: 8642-1558

Корнейченко Екатерина Николаевна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры математических методов и моделей в экономике, Оренбургский государственный университет

E-mail: ekaterina.korneychenko@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4165-9445>

Web of Science Researcher ID: KUF-0934-2024

eLIBRARY SPIN-код: 1155-6994

Аннотация

Цель: сравнительная оценка использования организациями технологий искусственного интеллекта в разрезе регионов России и определение детерминант, определяющих их динамику.

Методы: описательная статистика, гистограмма, группировка, метод главных компонент, модели панельных данных.

Результаты: абсолютным трендом последних лет стало изучение и внедрение технологий искусственного интеллекта во многие экономические, производственные процессы, общественную жизнь. В статье проанализированы тенденции применения технологий искусственного интеллекта в регионах России. Результаты сравнительного анализа регионов по уровню и темпам роста использования организациями технологий искусственного интеллекта позволили сделать вывод о неоднородности регионов по динамике исследуемого показателя в 2020–2022 гг., что отражено в разделении на четыре группы регионов: выше и ниже среднего уровня по России. Эконометрическое моделирование на основе метода главных компонент дало основания для объединения детерминант использования технологий искусственного интеллекта в четыре компоненты. Модели панельных данных с фиксированными эффектами показали значимое влияние компоненты, характеризующей состояние человеческого капитала, уровня экономического развития и инновационной активности организаций в регионе.

Научная новизна: впервые предпринята попытка сравнительного анализа регионов России по уровню использования организациями технологий искусственного интеллекта и определения детерминант его изменения.

Практическая значимость: обоснована неоднородность регионов по использованию организациями технологий искусственного интеллекта, а также высокий уровень влияния специфических характеристик регионов, которые необходимо учитывать при выстраивании национальной политики в области развития искусственного интеллекта.

Ключевые слова:

искусственный интеллект, экономика данных, цифровая экономика, региональная экономика, цифровизация, регионы России

Благодарности

Авторы выражают искреннюю признательность рецензентам за ценные комментарии и замечания.

Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-28-01290 «Исследование данных в цифровой экономике: пространственные эффекты, потоки и инфраструктурная обеспеченность», <https://rscf.ru/project/23-28-01290/>.

Статья находится в открытом доступе в соответствии с Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), предусматривающем некоммерческое использование, распространение и воспроизводство на любом носителе при условии упоминания оригинала статьи.

Как цитировать статью: Варламова, Ю. А., Корнейченко, Е. Н. (2024). Искусственный интеллект в российских регионах. *Russian Journal of Economics and Law*, 18(3), 641–662. <https://doi.org/10.21202/2782-2923.2024.3.641-662>

Scientific article

J. A. Varlamova¹,
E. N. Korneychenko²

¹ Kazan (Volga) Federal University, Kazan, Russia

² Orenburg State University, Orenburg, Russia

Artificial intelligence in the Russian regions

Contact:

Julia A. Varlamova, Cand. Sci. (Economics), Associate Professor, Department of Economic Theory and Econometrics, Institute for Management, Economics and Finance, Senior Researcher of the Center for Researching the issues of markets relations under economy globalization, Kazan (Volga) Federal University

E-mail: Julia.Varlamova@kpfu.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3255-9880>

Web of Science Researcher ID: J-5897-2016

eLIBRARY SPIN-code: 8642-1558

Ekaterina N. Korneychenko, Cand. Sci. (Economics), Associate Professor, Department of Mathematical Methods in Economics, Orenburg State University

E-mail: ekaterina.korneychenko@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4165-9445>

Web of Science Researcher ID: KUF-0934-2024

eLIBRARY SPIN-code: 1155-6994

Abstract

Objective: to provide a comparative assessment of the use of artificial intelligence technologies by organizations in the context of Russian regions and to identify determinants of their dynamics.

Methods: descriptive statistics, histogram, grouping, principal component method, panel data models.

Results: an absolute trend of recent years is to study and implement artificial intelligence technologies in many economic, industrial processes and social life. The article analyzes the trends in the application of artificial intelligence technologies in the Russian regions. The comparative analysis of regions by the level and growth rate of artificial intelligence technologies use by organizations showed that the regions were heterogenous by the dynamics of this indicator in 2020-2022. The regions were divided into four groups: above average and below average level in Russia. Econometric modeling based on the method of principal components gave grounds to unite the determinants of the use of artificial intelligence technologies into four components. Panel data fixed-effects models showed a significant impact of the component, characterizing the state of human capital, the level of economic development, and innovation activity of organizations in the region.

Scientific novelty: for the first time an attempt was made to provide a comparative analysis of Russian regions by the level of artificial intelligence technologies use by organizations and to find the determinants of its change.

Practical significance: the heterogeneity of regions in terms of the artificial intelligence technologies use by organizations was substantiated, as well as a great impact of the specific characteristics of regions, which should be taken into account when building a national policy of artificial intelligence development.

Keywords:

artificial intelligence, data economy, digital economy, regional economy, digitalization, Russian regions

Acknowledgments

The authors express their sincere gratitude to the reviewers for their valuable comments and remarks.

Financial Support

The research was supported by the Russian Science Foundation grant No. 23-28-01290 “Data research in the digital economy: spatial effects, flows and infrastructural provision”, <https://rscf.ru/project/23-28-01290/>.

The article is in Open Access in compliance with Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), stipulating non-commercial use, distribution and reproduction on any media, on condition of mentioning the article original.

For citation: Varlamova, J. A., & Korneychenko, E. N. (2024). Artificial intelligence in the Russian regions. *Russian Journal of Economics and Law*, 18(3), 641–662. (In Russ.). <https://doi.org/10.21202/2782-2923.2024.3.641-662>

Введение

В 2023 г. словарь *Collins* путем обработки 20 млрд слов, опубликованных по всему миру, признал «AI» (от англ. *artificial intelligence* – «искусственный интеллект») наиболее популярным словом¹. В 2023 г. наблюдались важные тренды в развитии искусственного интеллекта (далее – ИИ): генеративный *ChatGPT*, большие языковые модели (*large language model*)². Появились первые оценки эффекта использования генеративного ИИ на получение сверхприбыли фирмами, которые составляют около 0,4 % (Eisfeldt et al., 2023). Важно отметить, что хотя разработка технологий ИИ стартовала в 1950–1956 гг. (Makridakis, 2017), именно 2023 г. ознаменовал во многом наступление периода проникновения ИИ в общественную жизнь и превращения его в широко используемую технологию. Уровень развития ИИ и его проникновение стали настолько высоки, что в общественном сознании начала стираться грань между реальностью и выдумкой (Buarque et al., 2020): человек не различает реальные фото- и видеоряды и результаты работы ИИ, в частности нейросетей, продукт ИИ вводит человека в заблуждение (Westerlund, 2019). В промышленном производстве ИИ меняет распределение используемых факторов производства, что по количественным показателям можно идентифицировать как промышленную революцию (Abis & Veldkamp, 2024).

Несмотря на высокую скорость проникновения технологий ИИ в повседневную активность домохозяйств, национальные статистические службы не приводят официальных цифр по количеству пользователей данной технологии. «Анкета выборочного федерального статистического наблюдения по вопросам использования населением информационных технологий и информационно-телекоммуникационных сетей» (форма № 1-ИТ) содержит вопросы, связанные с доступом и использованием только технологий Интернета, что отражает временной лаг в реакции государственной статистики на изменения в появлении новых практик. Социологические опросы россиян свидетельствуют о росте доверия населения к использованию технологий ИИ. Так, по опросу ВЦИОМ, уровень доверия в 2022 г., по сравнению с 2021 г., вырос на 7 п. п. и составил 55 %.

¹ Collins – The Collins Word of the Year 2023 is... <https://www.collinsdictionary.com/woty>

² Blake, A. (2023, December 12). 2023 was the year of AI. Here were the 9 moments that defined it. Digital Trends. <https://www.digitaltrends.com/computing/biggest-ai-events-in-2023/>

В географическом аспекте более высокий уровень доверия технологиям ИИ характерен для жителей Москвы, Санкт-Петербурга и городов с численностью населения 100–500 тыс. человек³.

Проникновение технологий в общественную жизнь является одним из направлений развития ИИ, наряду с внедрением его в бизнес-процессы. Применение ИИ организациями выглядит в качестве одного из приоритетных направлений стратегии цифровой трансформации. 65 % компаний, принявших участие в мониторинге развития и распространения ИИ Института статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ, отмечают «тестовое (экспериментальное)» использование ИИ-решений. При этом основными барьерами для наращивания темпов внедрения ИИ опрошенные компании называют инвестиции и кадры⁴.

В институциональном плане в 2020 г. был разработан федеральный проект «Искусственный интеллект» в рамках национального проекта «Цифровая экономика». Кроме того, в России действует Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 г.⁵ При этом не решен вопрос пространственного развития России, или, точнее, «пространственного развития России на основе цифровой экономики с использованием искусственного интеллекта» (Блануца, 2020. С. 61). В 2025 г. планируется запустить новый национальный проект «Экономика данных и цифровая трансформация государства», который будет включать передовые цифровые технологии по сбору, хранению, анализу и безопасности данных. Анализ данных предполагается построить на технологиях ИИ. Экономика данных является потенциальной краткосрочной и среднесрочной перспективой развития бизнеса в мировом контексте (Sestino et al., 2023).

Применение новой технологии идет по пути обоснования ее влияния на экономику и экономический рост, достижению целей устойчивого развития (Singh et al., 2024). Однако влияние цифровизации на экономическое развитие не является априори обоснованным (Кадочникова, 2020; Имашева, Крамин, 2022). На примере предприятий Китая показано, что за счет улучшения общей факторной производительности и оптимизации структуры затрат ИИ снижает выбросы загрязняющих веществ (Cheng et al., 2024). Диффузия технологий глубинного обучения может удвоить темпы экономического роста (Besiroglu et al., 2024). На основе панельных данных с 1970 по 2019 г. по странам было доказано положительное влияние патентов в сфере ИИ на экономический рост (Gonzales, 2023), при этом влияние ИИ на региональный экономический рост неоднородно (Wang et al., 2024). Однако остается недостаточно исследованным вопрос, какие характеристики региона могут способствовать или, наоборот, препятствовать использованию технологий ИИ.

Диффузия инноваций и технологий между организациями может происходить как в рамках вертикальных коммуникаций (например, от головной компании филиалам), так и в рамках горизонтальных взаимосвязей (между компаниями-конкурентами на рынке) в результате поиска путей повышения конкурентоспособности компании. В силу ограниченности ресурсов компании могут стремиться к созданию кластеров или объединений для совместной разработки и использования цифровых технологий (Enholm et al., 2022). В этой связи можно предположить, что распространение технологий ИИ будет происходить на уровне регионов России неравномерно в силу особенностей экономического и инфраструктурного потенциала территорий.

Целью исследования является анализ состояния и ключевых детерминант использования организациями технологий ИИ в разрезе регионов России. Новизна исследования заключается в том, что впервые на российских данных предпринимается попытка проанализировать состояние распространенности ИИ среди организаций регионов, оценить степень их неоднородности и определить, какие характеристики регионов выступают в качестве основополагающих для использования технологий ИИ.

Достижение поставленной цели предполагает выполнение следующих задач:

- 1) описание тенденций использования технологий ИИ, сложившихся в регионах России;
- 2) формирование системы факторов, определяющих различия регионов России по вовлеченности организаций в использование технологий ИИ;
- 3) построение эконометрической модели для выявления наиболее существенных факторов, определяющих вовлеченность организаций в использование технологий ИИ.

³ Искусственный интеллект: угроза или светлое будущее? (2022, 28 декабря). ВЦИОМ. <https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/iskusstvennyi-intellekt-ugroza-ili-svetloe-budushchee>

⁴ Туровец, Ю. В., Вишневский, К. О. (2023, 26 сентября). Искусственный интеллект в России: кто, что и как внедряет. ИСИЭЗ НИУ ВШЭ. <https://issek.hse.ru/mirror/pubs/share/862009044.pdf>

⁵ Указ Президента РФ № 490 от 10 октября 2019 г. (2019). СПС «Гарант». <https://base.garant.ru/72838946/>

Обзор

Несмотря на распространение ИИ, единого понимания данной технологии среди исследователей и государственных деятелей не наблюдается. В широком смысле под искусственным интеллектом понимается «способность машин подражать интеллектуальному поведению людей»⁶. Искусственный интеллект воспринимается как компьютерная программа с автономными характеристиками обучения, которая в основном использует интеллектуальные датчики и большие данные для непрерывного анализа, адаптации и регулирования (Acemoglu & Restrepo, 2018). Росстат закладывает в технологии ИИ следующую интерпретацию: «Технологии искусственного интеллекта, позволяющие имитировать когнитивные функции человека (включая самообучение и поиск решений без заранее заданного алгоритма) и получать при выполнении конкретных задач результаты, сопоставимые как минимум с результатами интеллектуальной деятельности человека»⁷. Технологии искусственного интеллекта в рекомендациях Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ включают технологии следующих групп: компьютерное зрение, обработку естественного языка, распознавание и синтез речи, интеллектуальную поддержку принятия решений и перспективные методы искусственного интеллекта⁸.

Основной пул работ, как было сказано выше, идет по пути исследования эффектов от внедрения ИИ. Технологии ИИ способны увеличить использование больших данных для новых приложений и тем самым повышать эффективность научно-исследовательской деятельности (Rammer et al., 2022), проводить реинжиниринг бизнес-процессов, позволяя обрабатывать большие данные в режиме реального времени (Трофимов, 2019). При этом создание радикальных инноваций за счет использования ИИ не ограничивается только кругом крупного бизнеса, но имеет потенциальные возможности и для предприятий малого и среднего бизнеса (Grashof & Корка, 2023). Следует отметить, что переход к Индустрии 5.0 приводит не только к реинжинирингу бизнес-процессов и цифровизации бизнес-задач и рутинного труда, но и меняет саму сущность фирмы, превращая ее в экосистему без специализации и отраслевой принадлежности (Розанова, 2023).

Двусторонняя причинно-следственная связь между цифровым развитием и социально-экономическим развитием тестируется по данным российских регионов за период 2015–2020 гг. При этом на основе расчета интегрального индекса цифрового пространства, включающего подындекс цифровизации предприятий, выделено три кластера регионов. Исследователи на основе теста Грейнджера делают вывод о подтверждении гипотезы о наличии обратного воздействия цифрового пространства на социально-экономические показатели. Кроме того, в разрезе кластеров определены факторы, влияющие на уровень развития цифрового пространства: ВРП, объем используемых в регионе передовых технологий, доходы консолидированных бюджетов, оборот розничной торговли (Акбердина и др., 2023).

Диффузия инноваций и взаимосвязь регионов дают основания предполагать постепенное проникновение технологий от инновационных ядер к периферии и постепенное сглаживание цифрового неравенства в рамках одной страны (Comin et al., 2012). Диффузия инноваций может происходить по иерархическому (от крупных городов к более мелким), по площадному (по принципу соседства) (Hagerstrand, 1967), по волновому и сетевому принципам (Блануца, 2021). На примере распространения *RFID*-технологий, позволяющих автоматически идентифицировать объекты, сделан вывод об отрицательной пространственной автокорреляции между регионами России, что отражает наличие незначительного числа регионов с высоким уровнем использования данной цифровой технологии (Наумов и др., 2020).

На примере распространения сотовой связи в России в 2000-е гг. показано, что основные «новаторы» сосредоточены в столичных, приморских и приграничных регионах, в то время как наибольшие сложности в распространении новых технологий характерны для сельскохозяйственных и инфраструктурно труднодоступных регионов (Земцов, Бабурин, 2017). При этом привязка к уровню урбанизации для распространения технологии сотовой связи вполне закономерна: крупные агломерации обладают соответствующей инфраструктурой

⁶ Information Economy Report: Digitalization, Trade and Development – 2017. (2017). New York, Geneva: UN, UNCTAD.

⁷ Приказ Росстата № 538 от 29.07.2022. https://rosstat.gov.ru/storage/document/document_form/form/2022-11/02/0604018.doc

⁸ Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ. (2022). Методические рекомендации по цифровой трансформации государственных корпораций и компаний с государственным участием. https://digital.gov.ru/uploaded/files/7metodicheskierekomendatsii06092022125913_TZmtVQB.pdf

и значительной долей населения с уровнем дохода, позволяющим приобретать новые технологии. Так, распространение сотовой связи по территории России происходило следующим образом: Санкт-Петербург (из-за близости к Финляндии), далее Москва как крупнейшая агломерация и столица России, затем распространение по все большему количеству российских регионов, но более высокая концентрация была в регионах с крупными агломерациями (Самарская, Новосибирская области), в приграничных регионах с активными международными связями (Ленинградская, Калининградская, Мурманская области, Приморский и Краснодарский края), позднее технология охватила ресурсно богатые регионы Сибири (Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа), Поволжья (Республика Татарстан, Нижегородская область) (Земцов, Бабурин, 2017).

Схожим образом выглядела ситуация с распространением такой цифровой технологии, как Интернет, среди населения России по итогам 2020 г.: наибольшее распространение характерно для крупных агломераций (Москва, Санкт-Петербург, Тюмень, Казань, Самара и Воронеж), их ближайших соседей (Тульская, Московская, Ленинградская области), северных регионов (Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа, Магаданская и Мурманская области, Республика Карелия), приморских регионов (Приморский и Хабаровский края, Ростовская, Сахалинская области, Республика Крым) из-за международных связей. Наименьшая распространенность интернет-технологии наблюдалась в регионах с сельскими и удаленными поселениями, с высокой долей пожилого населения, со слаборазвитой магистральной инфраструктурой (Земцов и др., 2022). Выделенные закономерности распространенности технологий сотовой связи и использования Интернета в регионах России определялись во многом социально-демографическими характеристиками регионов, соответственно, в отношении использования ИИ организациями могут наблюдаться другие закономерности. Кроме того, исследования проводились на данных до 2020 г., после чего произошли серьезные геополитические изменения, усилилось санкционное давление, что могло серьезным образом повлиять на решение компаний об использовании инноваций.

«Дисперсионный» подход в региональных исследованиях предполагает наличие неоднородности в экономическом и индустриальном развитии (Gornig & Schiersch, 2024). Неравенство в цифровом развитии и в использовании цифровых технологий в разрезе российских регионов неоднократно подчеркивалось в эмпирических работах. Исследование, проведенное по данным 2014–2020 гг., показало, что в целом наблюдается сокращение разрыва между регионами России по использованию населением такой цифровой технологии, как Интернет, при этом неравенство в доступе к технологии значительно меньше, чем неравенство по использованию: в доступе разрыв двукратный, в использовании Интернета для заказа услуг – четырехкратный (Земцов и др., 2022). Среди регионов выделяются явными лидерами Москва и Московская область, которые превосходят по индексу развития экономики данных ближайших преследователей (Varlamova & Kadochnikova, 2023).

Неравномерность в развитии цифровой экономики прослеживается в противопоставлении индустриальных регионов европейской части остальным регионам России: индустриальные регионы опережают по цифровизации бизнеса, использованию базовых цифровых технологий и передовых технологий (геоинформационных систем, цифровых платформ, искусственного интеллекта, промышленных роботов) (Лаврикова и др., 2024). При этом важно отметить, что ИИ может усилить подобное неравенство или, другими словами, цифровой разрыв, в котором выделяют три уровня: первый – на уровне компаний (инновационные, имеющие экономические преимущества от внедрения ИИ, и неинновационные), второй – на уровне навыков сотрудников компаний, третий – на уровне стран⁹. При этом в качестве показателей ИИ-разрыва, определяющих развитие ИИ, выступают количество патентов компаний, патентов со стороны академического сообщества, научных публикаций в области ИИ (Kitsara, 2022). Обзор публикаций, выполненных в международных базах данных, показал наличие явного тренда на использование ИИ именно в целях развития бизнеса (Loureiro et al., 2021).

В результате проведенного обзора теоретических и эмпирических исследований можно сформулировать следующую исследовательскую гипотезу:

H1: Среди российских регионов наблюдается неоднородность в использовании организациями ИИ.

Теория диффузии инноваций подчеркивает, что скорость распространения инноваций определяется такими факторами, как существующая технологическая инфраструктура (Xiao & Boschma, 2023), институциональная

⁹ 3 'AI divides' and what we can do about them. (2018, September 10). World Economic Forum. <https://www.weforum.org/agenda/2018/09/the-promise-and-pitfalls-of-ai/>

рамка (нормативные акты) и сетевые эффекты (Rogers, 2003). Для развития и внедрения инноваций необходимо построение экосистемы, обеспечивающей тесное и эффективное взаимодействие между бизнесом, государством и научным сообществом с целью создания условий для реализации экономического потенциала ИИ (Freeman, 1987; Lundvall, 1992). Среди факторов, оказывающих существенное влияние на уровень проникновения цифровых технологий в регионах, следует отметить уровень экономического развития, который, как правило, измеряется таким показателем, как валовой региональный продукт (далее – ВРП) в расчете на душу населения (Акбердина и др., 2023). Помимо ВРП на душу населения, влияние на распространенность цифровых технологий в российских регионах оказывают такие показатели, как доля занятых в региональной экономике с высшим образованием, затраты на ИКТ, государственные субсидии на информатизацию (Kravchenko et al., 2017). Поскольку ВРП на душу населения может быть использован в терминах доходов, сгенерированных на уровне регионов, то богатые регионы имеют больше финансовых ресурсов для развития технологий (Beilock & Dimitrova, 2003). На примере регионов Дании было показано, что региональная специфика распространения технологий ИИ определяется в том числе общей инновационной средой региона и неформальными традициями по использованию технологий (Jessen, 2023).

Концептуально типологизация факторов, оказывающих влияние на использование цифровых технологий в российских регионах, выглядит следующим образом: финансовая доступность (доходы населения и стоимость услуг), характеристики человеческого капитала (занятые горожане с высшим образованием, пожилое население), институциональные условия (число малых предприятий и занятые в неформальном секторе) и экономико-географические характеристики диффузии инноваций (численность населения центра региона, средний уровень распространения технологии в соседнем регионе). Построенные исследователями эконометрические модели позволили сделать вывод о статистически значимом влиянии уровня вовлеченности населения данного региона и регионов-соседей на долю продаж через Интернет в обороте розничной торговли по данным за 2014–2020 гг. (Земцов и др., 2022). Среди экономических факторов доступности ИКТ выделяют долю добычи полезных ископаемых, предполагая, что подобные регионы финансово более богаты (Архипова, Сиротин, 2019). Таким образом, можно определить, что на уровень распространения технологии влияет готовность человеческого капитала к использованию данной технологии. При этом важно понимать, что в данном случае речь идет об интернет-технологии, которая получила широкое распространение среди домохозяйств и в большей степени определяется спросом именно со стороны данных экономических агентов.

В качестве причин цифрового неравенства российских регионов выделяют: соотношение стоимости использования цифровых услуг и средней заработной платы в регионе, плотность населения, инвестиционную и предпринимательскую активность, фактор периферийности, отток высококвалифицированных кадров (Деревцова и др., 2021).

Если при анализе детерминант использования технологий ИИ посмотреть на них как на барьеры, то теоретически барьеры систематизированы в следующие группы: государственная поддержка, научно-технологическая сфера, финансово-экономическая сфера и кадры (Фомина, 2022). Данная типологизация факторов выделена в целом для России, без учета региональной специфики.

Используется несколько подходов к измерению человеческого фактора как неотъемлемого условия развития ИИ. Человеческий фактор может быть представлен цифровым трудом для производства знаний (Миролюбова, Радионова, 2021). Заинтересованность компаний в развитии ИИ отслеживается не только с помощью показателя непосредственных инвестиций в ИИ, но и опосредованно за счет оценки вложений в наем выпускников вузов, работающих в ИИ (Babina et al., 2024). Агломерационный эффект обычно проявляется в высоком сосредоточении инноваций и технологий в населенных пунктах с высокой плотностью населения (Gaspar et al., 2018), но на российских данных это не получило подтверждения (Варламова, Кадочникова, 2024).

В глобальном масштабе на уровне стран развитие ИИ обусловлено такими факторами, как интенсивное развитие рынка ИКТ, доля добавленной стоимости, создаваемой в сфере услуг, масштабное развитие Интернета и социальных сетей (Смирнов, Лукьянов, 2019). Систематизация фокуса национальных стратегий развитых стран мира по развитию ИИ позволила выделить следующие укрупненные модули: умные заводы, новые технологические компании, национальная база ИИ, НИОКР, кадры, регуляторика (Доржиева, 2022).

Если рассматривать ИИ как неотъемлемую часть, новый этап развития цифровой экономики, то следует обратить внимание на пул работ, ставящих перед собой цель определения ключевых факторов, влияющих на развитие цифровой экономики в регионах. Исследование в разрезе префектур Китая позволило сделать вывод

о влиянии дохода в городских поселениях, дохода в сельских поселениях и уровня образования населения как ключевых детерминант цифрового разрыва (Song et al., 2020). Цифровой труд и цифровой капитал выступают ключевыми факторами производства знаний в российских регионах в 2016–2018 гг. (Миролюбова, Радионова, 2021). Расширение производственной функции знаний привело к введению социально-экономических характеристик регионов, оказывающих влияние на использование организациями технологий больших данных за период 2021–2022 гг.: доли городского населения, валового регионального продукта и доли затрат на инновации (Варламова, Кадочникова, 2024). Недостаток финансирования и высокая стоимость технологий названы в ходе опроса руководителей в качестве основных сдерживающих факторов для внедрения ИИ в сельское производство (Скворцов, 2020).

В региональных исследованиях тема ИИ является новой и актуальной (Lazzeretti et al., 2023). Как отмечается учеными, в российской науке наблюдается недостаток исследований «для регионального анализа распространения и взаимодействия экономических агентов в среде искусственного интеллекта» (Блануца, 2019). Одной из возможных причин может являться становление государственного статистического учета использования организациями передовых технологий, в том числе технологий ИИ (Коровин, 2023). Кроме того, обзор научных исследований за 2001–2020 гг. по теме пространственных диффузий цифровых инноваций позволил сделать вывод о «неизученности системы факторов, способствующих или препятствующих распространению цифровых инноваций» (Блануца, 2021. С. 118).

В результате систематизации результатов эмпирических исследований была сформулирована вторая исследовательская гипотеза:

H2: В качестве детерминант использования ИИ организациями можно выделить: инфраструктуру, цифровые навыки работников организаций, экономическую конъюнктуру и инновационность региона.

Проведенный обзор позволил сделать ряд важных выводов относительно исследований в области ИИ:

- неоднородность регионов России по уровню использования цифровых технологий;
- ИИ в регионах и факторы, на него влияющие, не имеют системного характера;
- недостаток эконометрических исследований на российских данных;
- недостаток исследований на региональных данных;
- сложность оценки уровня внедрения ИИ, фокус на технологиях Интернета.

Данные и методология

Информационная база исследования представлена панельными данными по субъектам РФ за 2020–2022 гг. Данные по Архангельской и Тюменской областям рассматривались без учета входящих в них автономных округов. Ненецкий, Ямало-Ненецкий и Ханты-Мансийский автономные округа рассматривались отдельно. В итоге объем выборки в пространственном разрезе составил $n = 85$, во временном разрезе $T = 3$, общий объем данных $N = 255$. Данные по объясняющим переменным собраны за 2019–2022 гг. (табл. 1).

Таблица 1

Описание используемых данных
Table 1. Description of the data used

№	Переменная / Variable	Описание переменной / Description of the variable
Результативная переменная / Outcome variable		
1	org_ai	Доля организаций, использующих ИИ, в общем количестве обследованных организаций, % / Share of organizations using AI in the total number of surveyed organizations, %
Объясняющие переменные / Explanatory variables		
Человеческий капитал / Human capital		
2	pop	Численность населения / Number of population
3	educ	Доля занятого населения в возрасте 25–64 лет, имеющего высшее образование, в общей численности занятого населения соответствующей возрастной группы, % / Share of employed population aged 25–64 with higher education in the total number of employed population of the corresponding age group, %

Окончание табл. 1 / End of Table 1

№	Переменная / Variable	Описание переменной / Description of the variable
4	emplICT	Удельный вес занятых в секторе ИКТ в общей численности занятого населения, % / Share of the employed in the ICT sector in the total number of employed population, %
5	active_usage	Население, использовавшее сеть Интернет каждый день или почти каждый день, % / Population using the Internet every day or almost every day, %
6	empl_comp	Доля работников организаций, использовавших ПК не реже одного раза в неделю, в общей численности списочного состава организаций, % / Share of employees using PCs at least once a week in the total number of personnel, %
7	empl_internet	Доля работников организаций, использовавших Интернет не реже одного раза в неделю, в общей численности списочного состава организаций, % / Share of employees using the Internet at least once a week in the total number of personnel, %
Инновационный потенциал / Innovative potential		
8	innov	Доля затрат на инновационную деятельность в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг, % / Share of expenditures on innovation activities in the total volume of shipped goods, performed works, rendered services, %
9	innov_active	Уровень инновационной активности организаций, % / Level of innovation activity of organizations, %
Экономическая конъюнктура / Economic environment		
10	grp	ВВП на душу населения, тыс. рублей (в постоянных ценах 2016 г.) / GRP per capita, thousand rubles (in constant prices of 2016)
11	grp_growth	Индекс физического объема ВВП, в % к предыдущему году / GRP physical volume index, in % to the previous year
Ресурсная база и инфраструктура / Resources and infrastructure		
12	invICT	Объем инвестиций в основной капитал, направленных на приобретение ИКТ-оборудования / Volume of investments in fixed capital aimed at purchasing ICT equipment
13	cellular	Проникновение подвижной радиотелефонной связи на 100 человек, единицы / Mobile radio telephony penetration per 100 people, units
14	internet_speed	Доля организаций, использующих доступ к сети Интернет со скоростью не менее 2 Мбит/с, в общем числе организаций, % / Share of organizations using Internet access at a speed of at least 2 Mbit/s in the total number of organizations, %
15	urban	Доля городского населения в общей численности населения, % / Share of urban population in the total population, %

Источники: 1, 4–7, 11–14 – Мониторинг, 2, 3, 8–11, 15 – «Регионы России».

Sources: 1, 4–7, 11–14 – Monitoring, 2, 3, 8–11, 15 – “Russian regions”.

Источниками данных выступила Федеральная служба государственной статистики РФ, использовалась официальная статистическая информация Мониторинга развития информационного общества в РФ (далее – Мониторинг) и сборников «Регионы России».

Для понимания сложившейся в регионах России ситуации и наметившихся тенденций изменения доли организаций, использующих технологии искусственного интеллекта, рассчитывалась доля организаций, средняя за период 2020–2022 гг., и средний коэффициент роста за аналогичный период. Полученная доля для каждого региона сравнивалась со средней долей по России в 5,7 %: регионы делились на те, в которых доля организаций, использовавших искусственный интеллект, была выше и ниже средней. Полученный средний коэффициент роста сравнивался с единицей: регионы делились на те, где коэффициент превышал единицу и наблюдался рост, и те, где коэффициент не превышал единицу и наблюдалось снижение. В результате выделено четыре группы регионов.

В методологическом плане, предполагая тесное взаимовлияние между экономическим развитием территории и использованием технологий, качеством человеческого капитала и цифровым развитием, иными словами, эндогенность, используются такие методы, как обобщенный метод наименьших квадратов для панельных данных (Grosso, 2006), двухшаговый метод наименьших квадратов (Melnik et al., 2023). Для учета

эндогенности и мультиколлинеарности исследуемых переменных предложена методология, основанная на сочетании метода главных компонент и регрессионных моделей для панельных данных.

Получение агрегированных факторов, влияющих на долю организаций, использовавших технологии искусственного интеллекта, выполнено с помощью метода главных компонент. Идея метода заключается в переходе от пространства исходных признаков $x_1, x_2, \dots, x_k$ в пространство новых признаков $f_1, f_2, \dots, f_m$, являющихся линейными комбинациями исходных. Количество новых признаков $m < k$ выбиралось из принципа сохранения не менее 60 % дисперсии исходных признаков. Интерпретация построенных главных компонент выполнялась на основе анализа матрицы факторных нагрузок, элементы которой представляют собой коэффициенты корреляции исходных и новых признаков. Для упрощения интерпретации использовалось ортогональное вращение матрицы нагрузок и матрицы значений новых признаков по методу варимакс.

Поскольку имеющаяся выборка исчерпывает исследуемую совокупность, то исследование влияния агрегированных факторов на долю организаций, использующих технологии искусственного интеллекта, осуществлялось в рамках регрессионных моделей с фиксированными эффектами (1) и (2):

$$org_ai_{it} = \mu_i + \sum_{j=1}^m \beta_j \cdot f_{ijt} + \gamma_1 \cdot y2021_t + \gamma_2 \cdot y2022_t + \varepsilon_{it}, \quad (1)$$

$$org_ai_{it} = \mu_i + \sum_{j=1}^m \beta_j \cdot f_{ijt-1} + \gamma_1 \cdot y2021_t + \gamma_2 \cdot y2022_t + \varepsilon_{it}, \quad (2)$$

где org_ai_{it} – доля организаций, использовавших технологии ИИ в регионе i в году t , μ_i – индивидуальный фиксированный эффект региона i , не меняется во времени, β_j – коэффициенты модели, характеризующие влияние фактора f_j на долю организаций, использовавших технологии ИИ, f_{ijt} – значение j -й главной компоненты для региона i в году t , $y2021, y2022$ – фиктивные переменные, принимающие значение 1 для наблюдений, относящихся к 2021 и 2022 гг. соответственно, γ_1, γ_2 – коэффициенты модели, характеризующие изменение доли организаций, использующих технологии ИИ, в 2021 и 2022 гг., ε_{it} – значение остаточной компоненты для региона i в году t , $i = 1, \dots, 85$, $t = 2020 - 2022$.

Фиксированные эффекты μ_i позволяют учесть ненаблюдаемые особенности регионов РФ, влияющие на долю организаций, использующих технологии искусственного интеллекта.

Расчеты проводились в профессиональных эконометрических программах *Stata, Gretl*.

Результаты

В 2020 г. в половине регионов России доля организаций, использующих технологии искусственного интеллекта, не превышала 5 %. Хотя в целом распространенность выглядит скромно (5 % – в 2020 г., 6,5 % – в 2022 г.), наметилась тенденция к росту: на 8 % в 2021 г., затем еще на 20 % в 2022 г. Лидерами по доле организаций, использовавших технологии искусственного интеллекта, в 2020 и 2021 гг. были Смоленская, Новгородская и Московская области (а также Пермский край в 2020 г.). В 2022 г. перешли порог в 10 % семь регионов РФ: Московская, Владимирская, Воронежская, Вологодская и Калужская области, республики Чечня и Адыгея. Стабильно меньше всего, менее 3 % всех организаций, использовали технологии искусственного интеллекта организации в Республике Тыва и Ненецком автономном округе (табл. 2).

Таблица 2

Описательная статистика для доли организаций, использующих ИИ за 2020–2022 гг., %

Table 2. Descriptive statistics for the share of organizations using AI (in %) in 2020–2022

Характеристика / Characteristics	Год / Year		
	2020	2021	2022
Среднее / Average	5,2	5,5	6,5
Медиана / Median	5,0	5,4	6,5
Минимум / Minimum	1,9	2,3	1,9

Окончание табл. 2 / End of Table 2

Характеристика / Characteristics	Год / Year		
	2020	2021	2022
Максимум / Maximum	12,5	11,2	12,6
Стандартное отклонение / Standard deviation	1,9	1,7	2,2
Асимметрия / Asymmetry	1,6	1,1	0,4
Экссесс / Kurtosis	3,7	2,2	0,2
Проверка нормального закона распределения / Checking the normal distribution			
Хи-квадрат / Chi-square	34,73***	14,16***	2,57

Примечание: в последней строке приведено значение статистики критерия хи-квадрат для проверки гипотезы о нормальном законе распределения; * – нулевая гипотеза отвергается на уровне значимости 0,1, ** – на уровне значимости 0,05, *** – на уровне значимости 0,01.

Note: the last line shows the value of the chi-square statistic for testing the normal distribution hypothesis; * – the null hypothesis is rejected at the significance level of 0.1, ** – at the significance level of 0.05, *** – at the significance level of 0.01.

Источник: расчеты авторов по данным Мониторинга развития информационного общества в РФ.

Source: authors' calculations based on the data of the Monitoring of Information Society Development in the Russian Federation.

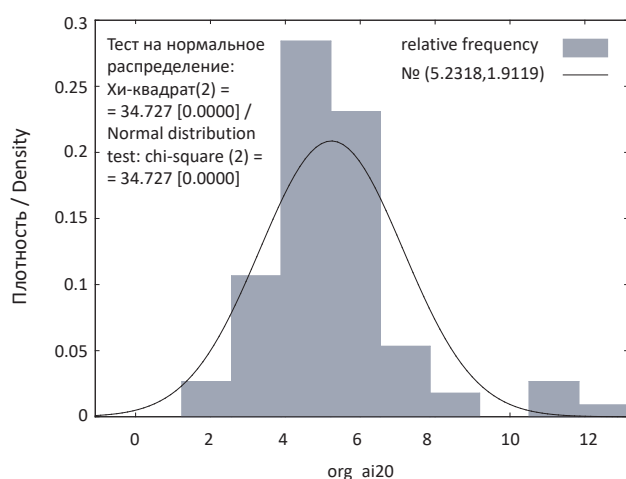
Гистограмма для исследуемого показателя в 2020 г. демонстрирует наличие разрыва и заметной группы наблюдений правее разрыва – регионов РФ с существенно более высокой долей организаций, использующих искусственный интеллект; имеет место неоднородность; гипотеза о нормальном законе распределения показателя отвергается. Гистограмма для 2021 г. демонстрирует «закрытие» разрыва – появились регионы, приблизившиеся к лидерам по доле организаций, использующих искусственный интеллект; все еще имеет место неоднородность; гипотеза о нормальном законе распределения показателя отвергается, но значение статистики хи-квадрат уменьшилось. Гистограмма для 2022 г. демонстрирует качественно иную картину: отсутствие разрывов, отсутствие групп заметно отличающихся наблюдений на каком-либо из хвостов распределения, регионы с высокой долей организаций, использующих искусственный интеллект, не выглядят чужеродными за счет того, что существенно большее число регионов «подтянулось» к ним; регионы выглядят более однородными; гипотеза о нормальном законе распределения показателя не отвергается (рис. 1).

Сложная экономическая и политическая обстановка 2020–2022 гг. отразилась на динамике изменения количества организаций, использующих ИИ: несмотря на общую тенденцию к росту, в каждом четвертом регионе РФ происходило снижение доли организаций, использующих технологии искусственного интеллекта (табл. 3). Обеспокоенность вызывают регионы-лидеры, оказавшиеся в группе снижения, – это Пермский край, Новгородская и Смоленская области. Сравнительно благоприятная ситуация с регионами в основном европейской части РФ и частью южных регионов. Снижение при невысокой стартовой точке характерно для ресурсных регионов.

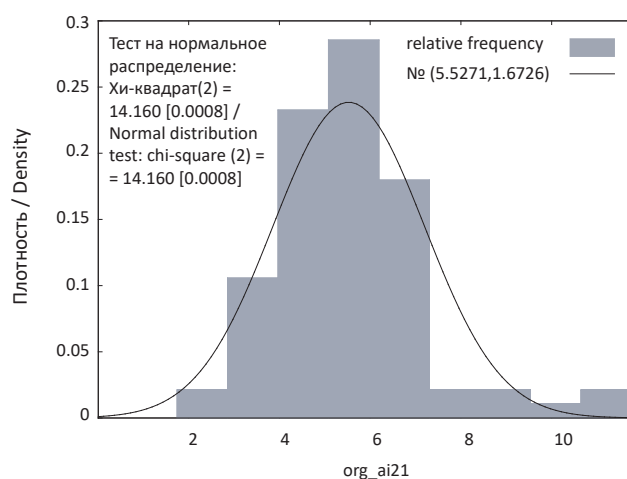
При реализации метода главных компонент для формирования агрегированных факторов принято решение оставить четыре первых главных компоненты, сохраняющих 60 % дисперсии исходных объясняющих переменных и имеющих оценки дисперсий больше единицы (табл. 4).

Первая и четвертая главные компоненты характеризуют имеющиеся в регионе возможности инфраструктуры и ресурсной базы, вторая главная компонента отвечает в большей степени за человеческий капитал, третья – за инновационный потенциал и человеческий капитал (табл. 5).

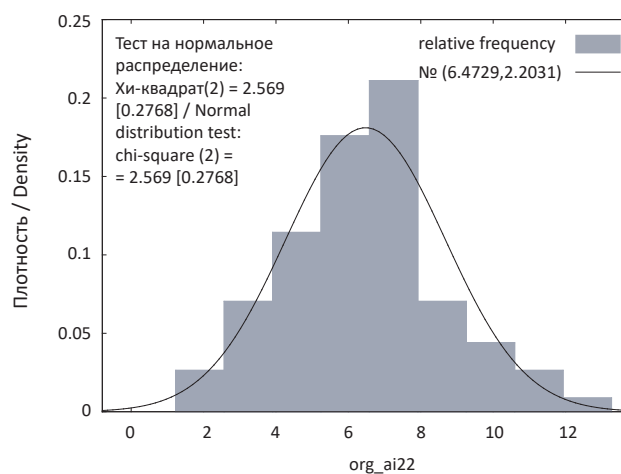
Полученные значения главных компонент для каждого региона РФ использовались в качестве объясняющих переменных в моделях регрессии для объяснения вариации доли организаций, использующих технологии искусственного интеллекта (табл. 6). Высокое значение *F*-статистики для проверки незначимости фиксированных эффектов подтверждает преимущество модели с фиксированными эффектами перед объединенной моделью регрессии, не учитывающей панельную структуру данных.



а) 2020 г.



б) 2021 г.



в) 2022 г.

Рис. 1. Гистограммы распределения доли организаций, использующих ИИ, по регионам России в 2020–2022 гг.

Источник: расчеты авторов по данным Мониторинга.

Fig. 1. Distribution of the share of organizations using AI by Russian regions in 2020–2022

Source: authors' calculations based on the data of the Monitoring of Information Society Development in the Russian Federation.

Таблица 3

Распределение регионов РФ по группам по доле организаций с ИИ и темпу ее роста
Table 3. Distribution of the Russian regions into groups by the share of organizations with AI and its growth rate

Рост/снижение / Growth/decrease	Регионы РФ / Russian regions
<i>Доля организаций, использующих ИИ, выше средней / Above average share of organizations using AI</i>	
Рост / Growth	Области: Астраханская, Владимирская, Вологодская, Воронежская, Ивановская, Калужская, Кемеровская, Кировская, Костромская, Курганская, Ленинградская, Липецкая, Московская, Мурманская, Новосибирская, Оренбургская, Псковская, Рязанская, Саратовская, Свердловская, Тамбовская, Томская, Тульская, Ярославская. Республики: Адыгея, Марий Эл, Карачаево-Черкесская, Северная Осетия, Татарстан, Чеченская. Края: Краснодарский, Ставропольский. Vсero: 31 / Regions: Astrakhan, Vladimir, Vologda, Voronezh, Ivanovo, Kaluga, Kemerovo, Kirov, Kostroma, Kurgan, Leningrad, Lipetsk, Moscow, Murmansk, Novosibirsk, Orenburg, Pskov, Ryazan, Saratov, Sverdlovsk, Tambov, Tomsk, Tula, Yaroslavl. Republics: Adygea, Mari El, Karachay-Cherkessia, North Ossetia, Tatarstan, Chechen Republic. Territories: Krasnodar, Stavropol. Total: 31
Снижение / Decrease	Области: Белгородская, Новгородская, Самарская, Смоленская, Тюменская, Челябинская Республики: Ингушетия Края: Пермский Vсero: 8 / Oblasts: Belgorod, Novgorod, Samara, Smolensk, Tyumen, Chelyabinsk oblasts Republics: Ingush Territories: Perm Total: 8
<i>Доля организаций, использующих ИИ, ниже средней / Below average share of organizations using AI</i>	
Рост / Growth	Области: Амурская, Архангельская, Волгоградская, Калининградская, Курская, Магаданская, Нижегородская, Омская, Ростовская, Сахалинская, Ульяновская Республики: Алтай, Башкортостан, Бурятия, Дагестан, Кабардино-Балкарская, Калмыкия, Крым, Мордовия, Тыва, Удмуртская, Чувашская. Края: Забайкальский, Камчатский, Красноярский, Приморский. Автономные округа и области: Чукотский, Еврейская. Города: Севастополь, Санкт-Петербург, Москва. Vсero: 32 / Oblasts: Amur, Arkhangelsk, Volgograd, Kaliningrad, Kursk, Magadan, Nizhny Novgorod, Omsk, Rostov, Sakhalin, Ulyanovsk Republics: Altai, Bashkortostan, Buryatia, Dagestan, Kabardino-Balkaria, Kalmykia, Crimea, Mordovia, Tyva, Udmurtia, Chuvash. Territories: Zabaikalsky, Kamchatsky, Krasnoyarsky, Primorsky. Autonomous districts and regions: Chukotsky, Jewish. Cities: Sevastopol, St. Petersburg, Moscow. Total: 32
Снижение / Decrease	Области: Брянская, Иркутская, Орловская, Пензенская, Тверская. Республики: Карелия, Коми, Саха, Хакасия. Края: Алтайский, Хабаровский. Автономные округа: Ненецкий, Ханты-Мансийский, Ямало-Ненецкий. Vсero: 14 / Oblasts: Bryansk, Irkutsk, Orel, Penza, Tver. Republics: Karelia, Komi, Sakha, Khakassia. Territories: Altai, Khabarovsk. Autonomous regions: Nenets, Khanty-Mansiysk, Yamalo-Nenets. Total: 14

Таблица 4

Оценки дисперсий построенных главных компонент
Table 4. Estimates of variance of the constructed principal components

№ компоненты / No. of component	Оценка собственного числа/оценка дисперсии / Eigenvalue estimation/variance estimation	Доля дисперсии / Variance share	Накопленная доля дисперсии / Variance share accumulated
1	3,93	0,28	0,28
2	1,94	0,14	0,42
3	1,55	0,11	0,53
4	1,16	0,08	0,61
5	0,96	0,07	0,68
6	0,84	0,06	0,74
7	0,82	0,06	0,80
8	0,70	0,05	0,85
9	0,60	0,04	0,89
10	0,50	0,04	0,93
11	0,44	0,03	0,96
12	0,27	0,02	0,98
13	0,17	0,01	0,99
14	0,10	0,01	1,00

Таблица 5

Оценки коэффициентов корреляции построенных главных компонент и объясняющих переменных
Table 5. Estimates of correlation coefficients of constructed principal components and explanatory variables

Объясняющая переменная / Explanatory variable	Главная компонента / Principal component			
	f_1	f_2	f_3	f_4
pop	0,37	0,16	-0,03	0,23
educ	0,14	0,10	0,39	0,22
emplICT	0,33	0,04	-0,23	0,02
active_usage	0,02	0,23	0,54	0,04
empl_comp	-0,01	0,59	0,01	-0,11
empl_internet	0,02	0,58	0,10	-0,08
innov	0,14	0,11	-0,35	0,20
innov_active	0,17	0,11	-0,44	0,01
invICT	0,35	0,18	0,13	0,17
cellular	0,47	-0,03	-0,03	-0,06
urban	0,45	-0,12	-0,02	-0,20
internet_speed	0,07	0,14	-0,07	-0,59
grp	0,36	-0,37	0,38	-0,14
grp_growth	0,00	-0,02	-0,05	0,64

Таблица 6

Результаты оценивания моделей (результативная переменная – доля организаций, использующих технологии искусственного интеллекта)

Table 6. Results of model evaluation (outcome variable – share of organizations using artificial intelligence technologies)

Объясняющий фактор / Explanatory factor	Модель (1): текущие значения факторов / Model (1): current factor values	Модель (2): лаговые значения факторов / Model (2): lag factor values
const	6,018*** (0,249)	6,373*** (0,198)
f1	0,287 (0,200)	0,810 (0,545)
f2	0,253 (0,226)	–0,114 (0,191)
f3	0,518** (0,257)	0,881*** (0,226)
f4	–0,091 (0,120)	–0,006 (0,142)
year21	–0,815** (0,392)	–0,781* (0,411)
year22	–0,592** (0,238)	–0,690** (0,338)
<i>Характеристики модели / Model characteristics</i>		
Количество наблюдений / Number of observations	255	255
LSDV R2	0,759	0,761
R-within	0,251	0,258
Доля вариации, обусловленная фиксированными эффектами регионов / Share of variation due to fixed effects of regions	0,722	0,814
F-статистика для проверки незначимости фиксированных эффектов / F-statistics for testing the insignificance of fixed effects	44,347***	8,752***

Примечание: * – значим на уровне 0,1, ** – значим на уровне 0,05, *** – значим на уровне 0,01.

Note: * – significant at 0.1, ** – significant at 0.05, *** – significant at 0.01.

Результаты оценивания моделей подтверждают необходимость включения переменных, учитывающих экономические шоки 2020–2022 гг.: в обеих моделях коэффициенты при соответствующих переменных значимы. Коэффициенты имеют отрицательные знаки, означающие, что при прочих равных условиях сложившаяся конъюнктура указанных лет замедлила рост доли организаций, использующих технологии искусственного интеллекта.

Значимым фактором, влияющим на долю организаций, использующих технологии искусственного интеллекта, является третья главная компонента, отвечающая за инновационный потенциал и человеческий капитал. Уровень образования населения и навыки активного использования цифровых технологий способствуют росту вовлеченности организаций в использование технологий ИИ. Кроме того, экономически более развитые регионы создают ресурсную базу для развития и более активного применения ИИ. Инновационная активность входит в третью главную компоненту с отрицательным знаком, что связано со снижением инновационной активности в регионах в период 2020–2022 гг., особенно в регионах европейской части РФ, в наибольшей степени демонстрировавших рост использования технологий искусственного интеллекта.

Построенные модели объясняют 25 % вариаций доли организаций, использующих технологии искусственного интеллекта, вариацией рассматриваемых в исследовании переменных, существенная доля вариации приходится на специфические особенности российских регионов.

Обсуждение

Общая ситуация с использованием организациями ИИ в России выглядит следующим образом. Можно констатировать этап становления экономики данных, поскольку медианное значение доли организаций составляло 5–6,5 %. Тем не менее тенденция к росту медианного значения в целом свидетельствует о положительном тренде к росту распространенности использования исследуемой цифровой технологии, несмотря на сложную экономическую ситуацию в период пандемии 2020–2021 гг. и международных санкций 2022 г. Следовательно, в перспективе тенденция к вовлеченности организаций в использование технологий ИИ продолжится, что соответствует целям стратегического развития мира и России в частности.

События 2022 г. внесли свои коррективы в распределение регионов по доле организаций, использующих ИИ: в этот период произошло сокращение существенного разрыва между регионами-лидерами и остальными регионами. Сближение регионов происходило на основе двух процессов. Во-первых, проведенные расчеты показали, что, несмотря на общую тенденцию к росту распространенности использования ИИ, в четверти регионов наблюдалось их активное снижение – произошло замедление развития лидеров. Во-вторых, сближение происходило за счет «подтягивания» регионов с низкой вовлеченностью организаций в использование ИИ-технологий. Полученный вывод согласуется с положениями теории диффузии технологий (Comin et al., 2012). Следовательно, можно сделать вывод о все большем распространении данной технологии в бизнес-процессах в целом по стране и повышения однородности по использованию ИИ среди регионов России в период сложной экономической обстановки.

Отрицательное влияние пандемии и геополитической ситуации 2022 г. также прослеживается в результатах моделирования: оба временных периода приводят к снижению доли организаций, использующих ИИ. Тем не менее в совокупности с предыдущим выводом о тенденции к увеличению распространенности использования исследуемой цифровой технологии, мы можем сделать вывод о росте использования ИИ вопреки экономическим шокам. Тенденция роста распространенности использования цифровых технологий сильнее, чем отрицательное влияние сдерживающих макроэкономических факторов.

Среди ключевых факторов, оказывающих влияние на долю организаций, использующих ИИ, статистически обоснована совокупность характеристик регионов, объединенных в третью компоненту: ВРП на душу населения, доля занятого населения с высшим образованием, активное использование населением Интернета, инновационная активность предприятий и доля затрат на инновационную деятельность. Полученные выводы частично совпадают с результатами исследования Бабиной и соавторов: ИИ сконцентрирован в тех регионах, где располагается крупный бизнес и сконцентрировано производство (Babina et al., 2024), т. е. в регионах с высоким уровнем экономического развития. Кроме того, эконометрически обосновано наличие временного лага во влиянии, что согласуется с выводами исследований других ученых (Mihet & Philippon, 2019; Brynjolfsson et al., 2019).

Заключение

Проведенное исследование было направлено на характеристику текущего состояния использования организациями технологий ИИ в разрезе регионов России и определение ключевых факторов, оказывающих влияние на распространенность использования этих технологий.

В результате исследования гипотеза о неоднородности регионов по использованию организациями ИИ подтвердилась частично. С одной стороны, сделан вывод о сокращении разрыва между регионами-лидерами и остальными регионами в 2022 г. и распределении числа организаций в соответствии с нормальным законом. Таким образом, геополитическая ситуация 2022 г. способствовала сближению регионов по использованию ИИ, но цифровое неравенство между регионами сохранилось. На наш взгляд, одной из возможных причин подобного сближения может быть переориентация компаний с зарубежных технологий на отечественные, что способствовало диффузии цифровых технологий в рамках национальной экономики. Кроме того, часть регионов изначально стартовала с низких значений распространения ИИ, что на фоне снижения показателей у регионов-лидеров выглядело как сближение регионов. С другой стороны, значимые фиксированные эффекты регионов в регрессионной модели на панельных данных и высокая доля дисперсии, обусловленная именно

фиксированными эффектами, являются отражением специфических особенностей российских регионов в использовании технологий ИИ.

Среди детерминант, выделенных на основе обзора теоретических и эмпирических исследований, проведенных в области распространения цифровых технологий, получили эмпирическое подтверждение на данных российских регионов в 2020–2022 гг. факторы, характеризующие человеческий капитал и навыки использования цифровых технологий региона в целом, уровень экономического развития региона, его инновационный потенциал. Таким образом, можно сделать вывод о частичном подтверждении выдвинутой гипотезы в части приоритетного воздействия накопленного потенциала региона для активного внедрения технологий ИИ.

С точки зрения практических рекомендаций, продиктованных полученными выводами, можно предложить следующее.

Во-первых, с точки зрения статистического учета необходимо ввести в анкету федерального статистического наблюдения № 1-ИТ по вопросам использования населением информационных технологий и информационно-телекоммуникационных сетей дополнительные вопросы по использованию ИИ населением, что будет отражать распространенность технологий ИИ не только среди организаций, но и среди домохозяйств, активное использование цифровых технологий которых определяет заинтересованность бизнеса во внедрении соответствующих технологий.

Во-вторых, сокращению неравенства среди регионов по использованию организациями технологий ИИ способствует увеличение доступности цифровых технологий при помощи субсидируемых и государственных программ цифровизации бизнеса с использованием типовых технологических решений (Audretsch et al., 2022). Подобные решения позволяют снизить зависимость распространенности ИИ от уровня экономического развития региона и использовать ИИ большему кругу организаций.

В-третьих, региональные экономики представляют собой уникальные экосистемы, учет специфических характеристик которых позволит предложить индивидуальные траектории развития экономики данных и распространения передовых технологий.

В-четвертых, тренд на рост вовлеченности организаций в использование ИИ в период макрошоков и высокой неопределенности свидетельствует в пользу дальнейших перспектив по активному наращиванию применения данной технологии.

Ограничением исследования является короткий период наблюдения. Кроме того, период наблюдения включал в себя кризисный период 2020–2021 гг., в который произошла эпидемия COVID-19, кардинально изменившая экономическую ситуацию, и 2022 г., на который пришелся разрыв многих технологических цепочек, наложение санкций, в том числе в сфере ИТ. Указанные особенности годов частично учитывались в модели за счет введения временных дамми-переменных.

Переменные, измеряющие долю работников организаций, использовавших персональные компьютеры или Интернет не реже одного раза в неделю, вероятно, не в полной мере характеризуют человеческий капитал в сфере информационных технологий, тем более в сфере таких продвинутых информационных технологий, как искусственный интеллект. Необходимо собирать информацию, позволяющую различать сотрудников организаций по их навыкам.

В качестве результативной переменной в исследовании бралась доля организаций, использовавших технологии искусственного интеллекта, т. е. переменная, которая по своему содержанию принимает значения только из промежутка от 0 до 1 (от 0 до 100 %). Прогнозные значения доли по линейной модели регрессии, которая использовалась в работе, теоретически могут выходить за указанный интервал. Однако с учетом того, что в исследуемом периоде число организаций, использующих технологии искусственного интеллекта, было крайне невелико (ни в одном регионе не превышало 15 %), то выхода прогнозных значений доли за указанный интервал не произошло и применение линейной модели регрессии представляется допустимым.

Панельная структура исходных данных позволяла учитывать неоднородность российских регионов за счет введения в оцениваемую модель индивидуальных фиксированных эффектов. Вместе с тем на распространение технологических новаций, в первую очередь технологий искусственного интеллекта, в настоящее время может оказывать влияние взаимное расположение регионов, когда на территории страны образуются технологические кластеры. Учет данного фактора возможен при использовании пространственных эконометрических моделей.

Список литературы

- Акбердина, В. В., Наумов, И. В., Красных, С. С. (2023). Цифровое пространство регионов Российской Федерации: оценка факторов развития и взаимного влияния на социально-экономический рост. *Journal of Applied Economic Research*, 22(2), 294–322. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2023.22.2.013>
- Архипова, М. Ю., Сиротин, В. П. (2019). Региональные аспекты развития информационно-коммуникационных и цифровых технологий в России. *Экономика региона*, 15(3), 670–683. <https://doi.org/10.17059/2019-3-4>
- Блануца, В. И. (2019). Цифровая экономика России на основе искусственного интеллекта: перспективные направления региональных исследований. *Экономика и бизнес: теория и практика*, 11-1(57), 62–67. <https://doi.org/10.24411/2411-0450-2019-11294>
- Блануца, В. И. (2020). Стратегия развития искусственного интеллекта в России: потенциальное воздействие на региональную экономику. *Азимут научных исследований: экономика и управление*, 9(4), 61–66. <http://doi.org/10.26140/anie-2020-0904-0013>
- Блануца, В. И. (2021). Пространственная диффузия цифровых инноваций: тренды, проблемы и перспективы эмпирических исследований. *Пространственная экономика*, 17(4), 118–142. <https://dx.doi.org/10.14530/se.2021.4.118-142>
- Варламова, Ю. А., Кадочникова, Е. И. (2024). Детерминанты использования организациями технологий больших данных в российских регионах. *Journal of Applied Economic Research*, 23(2), 422–451. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2024.23.2.017>
- Деревцова, И. В., Внукова, Я. А., Головащенко, Е. А., Денисевич, Д. Д. (2021). Проблема цифрового неравенства регионов России как угроза экономической безопасности. *Baikal Research Journal*, 12(2), 20. [https://doi.org/10.17150/2411-6262.2021.12\(2\).20](https://doi.org/10.17150/2411-6262.2021.12(2).20)
- Доржиева, В. В. (2022). Национальные приоритеты развития промышленного искусственного интеллекта в условиях новых технологических вызовов. *Вопросы инновационной экономики*, 12(1), 111–122. <https://doi.org/10.18334/vinec.12.1.114205>
- Земцов, С. П., Бабулин, В. Л. (2017). Моделирование диффузии инноваций и типология регионов России на примере сотовой связи. *Известия Российской академии наук. Серия географическая*, 4, 17–30. <https://doi.org/10.7868/s0373244417100024>
- Земцов, С. П., Демидова, К. В., Кичаев, Д. Ю. (2022). Распространение Интернета и межрегиональное цифровое неравенство в России: тенденции, факторы и влияние пандемии. *Балтийский регион*, 14(4), 57–78. <http://doi.org/10.5922/2079-8555-2022-4-4>
- Имашева, И. Ю., Крамин, Т. В. (2022). Цифровое неравенство: модернизация кривой Кузнец в цифровую эпоху. *Russian Journal of Economics and Law*, 16(4), 716–727. <https://doi.org/10.21202/2782-2923.2022.4.716-727>
- Кадочникова, Е. И. (2020). Конвергенция экономического роста и цифровизация домохозяйств: пространственный анализ взаимосвязи на региональных панельных данных. *Актуальные проблемы экономики и права*, 14(3), 487–507. <https://doi.org/10.21202/1993-047X.14.2020.3.487-507>
- Коровин, Г. Б. (2023). Сравнительная оценка цифровизации промышленных регионов РФ. *Экономика региона*, 19(1), 60–74. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2023-1-5>
- Лаврикова, Ю. Г., Бодрунов, С. Д., Акбердина, В. В., Коровин, Г. Б. (2024). Цифровая трансформация экономики: особенности индустриально развитых регионов. *Экономическое возрождение России*, 1(79), 5–24. <https://doi.org/10.37930/1990-9780-2024-1-79-5-24>
- Миролюбова, Т. В., Радионова, М. В. (2021). Оценка влияния факторов цифровой трансформации на региональный экономический рост. *Регионоведение*, 29(3), 486–510. <https://doi.org/10.15507/2413-1407.116.029.202103.486-510>
- Наумов, И. В., Дубровская, Ю. В., Козоногова, Е. В. (2020). Цифровизация промышленного производства в регионах России: пространственные взаимосвязи. *Экономика региона*, 16(3), 896–910. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2020-3-17>
- Розанова, Н. М. (2023). Индустрия 5.0: золотой век или прыжок в темноту? *Вестник Института экономики Российской академии наук*, 6, 61–77. https://doi.org/10.52180/2073-6487_2023_6_61_77
- Скворцов, Е. А. (2020). Перспективы применения технологий искусственного интеллекта в сельском хозяйстве региона. *Экономика региона*, 16(2), 563–576. <http://doi.org/10.17059/2020-2-17>
- Смирнов, Е. Н., Лукьянов, С. А. (2019). Формирование и развитие глобального рынка систем искусственного интеллекта. *Экономика региона*, 15(1), 57–69. <http://doi.org/10.17059/2019-1-5>
- Трофимов, В. В. (2019). Искусственный интеллект в цифровой экономике. *Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета*, 4, 105–109. EDN: HJHGQL
- Фомина, А. Н. (2022). Проблемы и перспективы развития рынка искусственного интеллекта в России. *Вопросы инновационной экономики*, 12(2), 1051–1068. <https://doi.org/10.18334/vinec.12.2.114607>
- Abis, S., & Veldkamp, L. (2024). The changing economics of knowledge production. *The Review of Financial Studies*, 37(1), 89–118. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhad059>
- Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2018). Artificial intelligence, automation, and work. In A. Agrawal, J. Gans, A. Goldfarb (Eds.), *The Economics of Artificial Intelligence: an Agenda* (pp. 197–236). University of Chicago Press, <https://doi.org/10.3386/W24196>

- Audretsch, D., Belitski, M., Rejeb, N., & Caiazza, R. (Eds.). (2022). *Developments in Entrepreneurial Finance and Technology*. Edward Elgar Publishing. <http://dx.doi.org/10.4337/9781800884342>
- Babina, T., Fedyk, A., He, A., & Hodson, J. (2024). Artificial intelligence, firm growth, and product innovation. *Journal of Financial Economics*, 151, 103745. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2023.103745>
- Beilock, R., & Dimitrova, D. V. (2003). An exploratory model of inter-country Internet diffusion. *Telecommunications policy*, 27(3–4), 237–252. [https://doi.org/10.1016/S0308-5961\(02\)00100-3](https://doi.org/10.1016/S0308-5961(02)00100-3)
- Besiroglu, T., Emery-Xu, N., & Thompson, N. (2024). Economic impacts of AI-augmented R&D. *Research Policy*, 53(7), 105037. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2024.105037>
- Brynjolfsson, E., Rock, D., & Syverson, C. (2019). Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox: A Clash of Expectations and Statistics. A. Agrawal, J. Gans, A. Goldfarb (Eds.), *The Economics of Artificial Intelligence: an Agenda*. University of Chicago Press, <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226613475.003.0001>
- Buarque, B. S., Davis, R. B., Hynes, R. M., & Kogler, D. F. (2020). OK Computer: the creation and integration of AI in Europe. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 13(1), 175–192. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsz023>
- Cheng, K., Jin, Z., & Wu, G. (2024). Unveiling the role of artificial intelligence in influencing enterprise environmental performance: Evidence from China. *Journal of Cleaner Production*, 440, 140934. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140934>
- Comin, D. A., Dmitriev, M., & Rossi-Hansberg, E. (2012). The spatial diffusion of technology. *National Bureau of Economic Research*, w18534. <https://doi.org/10.3386/w18534>
- Eisfeldt, A. L., Schubert, G., & Zhang, M. B. (2023). Generative AI and firm values. In *National Bureau of Economic Research*, w31222. <https://doi.org/10.3386/w31222>
- Enholm, I. M., Papagiannidis, E., Mikalef, P., & Krogstie, J. (2022). Artificial intelligence and business value: A literature review. *Information Systems Frontiers*, 24(5), 1709–1734. <https://doi.org/10.1007/s10796-021-10186-w>
- Freeman, Ch. (1987). *Technology, policy and economic performance: lessons from Japan*. Pinter Publishers.
- Gaspar, J. M., Castro, S. B. S. D., & Correia-da-Silva, J. (2018). Agglomeration patterns in a multi-regional economy without income effects. *Economic Theory*, 66(4), 863–899. <https://doi.org/10.1007/s00199-017-1065-9>
- Gonzales, J. T. (2023). Implications of AI innovation on economic growth: a panel data study. *Journal of Economic Structures*, 12(1), 13. <https://doi.org/10.1186/s40008-023-00307-w>
- Gornig, M., & Schiersch, A. (2024). Agglomeration economies: different effects on TFP in high-tech and low-tech industries. *Regional Studies*, 1–12. <https://doi.org/10.1080/00343404.2024.2318454>
- Grashof, N., & Kopka, A. (2023). Artificial intelligence and radical innovation: an opportunity for all companies? *Small Business Economics*, 61(2), 771–797. <https://doi.org/10.1007/s11187-022-00698-3>
- Grosso, M. (2006). Determinants of broadband penetration in OECD nations. *Australian Communications Policy and Research Forum*, 1–31.
- Hagerstrand, T. (1967). *Innovation Diffusion as a Spatial Process*. Chicago.
- Jessen, S. (2023). *Technological change and regional inequalities: Spatial diffusion of Artificial Intelligence across Danish regions*. Aalborg Universitetsforlag. <https://doi.org/10.54337/aaug687403957>
- Kitsara, I. (2022). Artificial Intelligence and the Digital Divide: From an Innovation Perspective. In A. Bounfour (Ed.), *Platforms and Artificial Intelligence*. Progress in IS (pp. 245–265). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-90192-9_12
- Kravchenko, N., Goryushkin, A., Ivanova, A., Khalimova, S., Kuznetsova, S., & Yusupova, A. (2017). Determinants of growth of small high-tech companies in transition economies. *Model Assisted Statistics and Applications*, 12(4), 399–412. <https://doi.org/10.3233/MAS-170407>
- Lazzeretti, L., Innocenti, N., Nannelli, M., & Oliva, S. (2023). The emergence of artificial intelligence in the regional sciences: a literature review. *European Planning Studies*, 31(7), 1304–1324. <https://doi.org/10.1080/09654313.2022.2101880>
- Loureiro, S. M. C., Guerreiro, J., & Tussyadiah, I. (2021). Artificial intelligence in business: State of the art and future research agenda. *Journal of Business Research*, 129, 911–926. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.11.001>
- Lundvall, B.-A. (2016). *The learning economy and the economics of hope* (Vol. 242). London; New York, NY: Anthem Press.
- Makridakis, S. (2017). The forthcoming Artificial Intelligence (AI) revolution: Its impact on society and firms. *Futures*, 90, 46–60. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2017.03.006>
- Melnik, A., Naumova, I., & Ermolaev, K. (2023). Adapting Innovation Development Management Processes to Improve Energy Efficiency and Achieve Decarbonization Goals. *Foresight and STI Governance*, 17(1), 51–66. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2023.1.51.66>
- Mihet, R., & Philippon, Th. (2019). The Economics of Big Data and Artificial Intelligence. In J. J. Choi, & B. Ozkan (Eds.). *Disruptive Innovation in Business and Finance in the Digital World (International Finance Review)*, 20, 29–43. <https://doi.org/10.1108/S1569-376720190000020006>
- Rammer, C., Fernández, G. P., & Czarnitzki, D. (2022). Artificial intelligence and industrial innovation: Evidence from German firm-level data. *Research Policy*, 51(7). <https://doi.org/10.1016/j.respol.2022.104555>
- Rogers, E. (2003). *Diffusion of innovations* (5th ed.). Tampa, FL: Free Press.
- Sestino, A., Kahlawi, A., & De Mauro, A. (2023). Decoding the data economy: a literature review of its impact on business, society and digital transformation. *European Journal of Innovation Management*. Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/EJIM-01-2023-0078>

- Singh, R., Kumar, K., & Khan, S. (2024). A Comprehensive View of Artificial Intelligence (AI) – Based Technologies for Sustainable Development Goals (SDGs). In R. Singh, S. Khan, A. Kumar, & V. Kumar (Eds.). *Artificial Intelligence Enabled Management: An Emerging Economy* (Chapter 12, pp. 183–196). Berlin, Boston: De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783111172408-012>
- Song, Z., Wang, C., & Bergmann, L. (2020). China's prefectural digital divide: Spatial analysis and multivariate determinants of ICT diffusion. *International Journal of Information Management*, 52, 102072. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102072>
- Varlamova, J., & Kadochnikova, E. (2023). Modeling the Spatial Effects of Digital Data Economy on Regional Economic Growth: SAR, SEM and SAC Models. *Mathematics*, 11(16), 3516. <https://doi.org/10.3390/math11163516>
- Wang, X., He, T., Wang, S., & Zhao, H. (2024). The Impact of Artificial Intelligence on Economic Growth From the Perspective of Population External System. *Social Science Computer Review*, 08944393241246100. <https://doi.org/10.1177/08944393241246100>
- Westerlund, M. (2019). The emergence of deepfake technology: A review. *Technology Innovation Management Review*, 9(11), 40–53. <http://doi.org/10.22215/timreview/1282>
- Xiao, J., & Boschma, R. (2023). The emergence of artificial intelligence in European regions: the role of a local ICT base. *The Annals of Regional Science*, 71(3), 747–773. <https://doi.org/10.1007/s00168-022-01181-3>

References

- Abis, S., & Veldkamp, L. (2024). The changing economics of knowledge production. *The Review of Financial Studies*, 37(1), 89–118. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhad059>
- Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2018). Artificial intelligence, automation, and work. In A. Agrawal, J. Gans, A. Goldfarb (Eds.), *The Economics of Artificial Intelligence: an Agenda* (pp. 197–236). University of Chicago Press, <https://doi.org/10.3386/W24196>
- Akberdina, V. V., Naumov, I. V., & Krasnykh, S. S. (2023). Digital Space of Regions: Assessment of Development Factors and Influence on Socio-Economic Growth. *Journal of Applied Economic Research*, 22, 2, 294–322 (In Russ.). <https://doi.org/10.15826/vestnik.2023.22.2.013>
- Arkhipova, M. Yu., & Sirotin, V. P. (2019). Development of digital technologies in Russia: regional aspects. *Economy of Region*, 15(3), 670–683. (In Russ.). <https://doi.org/10.17059/2019-3-4>
- Audretsch, D., Belitski, M., Rejeb, N., & Caiazza, R. (Eds.). (2022). *Developments in Entrepreneurial Finance and Technology*. Edward Elgar Publishing. <http://dx.doi.org/10.4337/9781800884342>
- Babina, T., Fedyk, A., He, A., & Hodson, J. (2024). Artificial intelligence, firm growth, and product innovation. *Journal of Financial Economics*, 151, 103745 <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2023.103745>
- Beilock, R., & Dimitrova, D. V. (2003). An exploratory model of inter-country Internet diffusion. *Telecommunications policy*, 27(3–4), 237–252. [https://doi.org/10.1016/S0308-5961\(02\)00100-3](https://doi.org/10.1016/S0308-5961(02)00100-3)
- Besiroglu, T., Emery-Xu, N., & Thompson, N. (2024). Economic impacts of AI-augmented R&D. *Research Policy*, 53(7), 105037. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2024.105037>
- Blanutsa, V. I. (2019). Digital economy of Russia based on artificial intelligence: perspective directions of regional research. *Journal of Economy and Business*, 11-1(57), 62–67. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/2411-0450-2019-11294>
- Blanutsa, V. I. (2021). Spatial diffusion of digital innovations: trends, problems and prospects of empirical research. *Spatial Economics*, 17(4), 118–142. (In Russ.). <https://dx.doi.org/10.14530/se.2021.4.118-142>
- Blanutsa, V. I. (2020). Artificial intelligence development strategy in Russia: potencial impact on the regional economy. *Azimuth of Scientific Research: Economics and Administration*, 9(4), 61–66. (In Russ.). <http://doi.org/10.26140/anie-2020-0904-0013>
- Brynjolfsson, E., Rock, D., & Syverson, C. (2019). Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox: A Clash of Expectations and Statistics. A. Agrawal, J. Gans, A. Goldfarb (Eds.), *The Economics of Artificial Intelligence: an Agenda*. <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226613475.003.0001>
- Buarque, B. S., Davis, R. B., Hynes, R. M., & Kogler, D. F. (2020). OK Computer: the creation and integration of AI in Europe. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 13(1), 175–192. <https://doi.org/10.1093/cjres/rsz023>
- Cheng, K., Jin, Z., & Wu, G. (2024). Unveiling the role of artificial intelligence in influencing enterprise environmental performance: Evidence from China. *Journal of Cleaner Production*, 440, 140934. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140934>
- Comin, D. A., Dmitriev, M., & Rossi-Hansberg, E. (2012). The spatial diffusion of technology. *National Bureau of Economic Research*, w18534. <https://doi.org/10.3386/w18534>
- Derevtsova, I. V., Vnukova, Ya. A., Golovashchenko, E. A., & Denisevich, D. D. (2021). The problem of digital inequality in the regions of Russia as a threat to economic security. *Baikal Research Journal*, 12(2). (In Russ.). [https://doi.org/10.17150/2411-6262.2021.12\(2\).20](https://doi.org/10.17150/2411-6262.2021.12(2).20)
- Dorzhieva, V. V. (2022). National priorities for the development of industrial artificial intelligence amidst new technological challenges. *Russian Journal of Innovation Economics*, 12(1), 111–122 (In Russ.). <https://doi.org/10.18334/vinec.12.1.114205>
- Eisfeldt, A. L., Schubert, G., & Zhang, M. B. (2023). Generative AI and firm values. In *National Bureau of Economic Research*, w31222. <https://doi.org/10.3386/w31222>

- Enholm, I. M., Papagiannidis, E., Mikalef, P., & Krogstie, J. (2022). Artificial intelligence and business value: A literature review. *Information Systems Frontiers*, 24(5), 1709–1734. <https://doi.org/10.1007/s10796-021-10186-w>
- Fomina, A. N. (2022) Challenges and development trends of the artificial intelligence market in Russia. *Voprosy Innovatsionnoy Ekonomiki*, 12(2), 1051–1068. (In Russ.). <https://doi.org/10.18334/vinec.12.2.114607>
- Freeman, Ch. (1987). *Technology, policy and economic performance: lessons from Japan*. Pinter Publishers.
- Gaspar, J. M., Castro, S. B. S. D., & Correia-da-Silva, J. (2018). Agglomeration patterns in a multi-regional economy without income effects. *Economic Theory*, 66(4), 863–899. <https://doi.org/10.1007/s00199-017-1065-9>
- Gonzales, J. T. (2023). Implications of AI innovation on economic growth: a panel data study. *Journal of Economic Structures*, 12(1), 13. <https://doi.org/10.1186/s40008-023-00307-w>
- Gornig, M., & Schiersch, A. (2024). Agglomeration economies: different effects on TFP in high-tech and low-tech industries. *Regional Studies*, 1–12. <https://doi.org/10.1080/00343404.2024.2318454>
- Grashof, N., & Kopka, A. (2023). Artificial intelligence and radical innovation: an opportunity for all companies? *Small business economics*, 61(2), 771–797. <https://doi.org/10.1007/s11187-022-00698-3>
- Grosso, M. (2006). Determinants of broadband penetration in OECD nations. *Australian Communications Policy and Research Forum*, 1–31.
- Hagerstrand, T. (1967). *Innovation Diffusion as a Spatial Process*. Chicago, 334 p.
- Imasheva, I. Yu., & Kramin, T. V. (2022). Digital inequality: modernization of Kuznets curve in the digital era. *Russian Journal of Economics and Law*, 16(4), 716–727. (In Russ.). <https://doi.org/10.21202/2782-2923.2022.4.716-727>
- Jessen, S. (2023). *Technological change and regional inequalities: Spatial diffusion of Artificial Intelligence across Danish regions*. Aalborg Universitetsforlag. <https://doi.org/10.54337/aau687403957>
- Kadochnikova, E. I. (2020). Convergence of economic growth and digitalization of households: spatial analysis of interrelation with regional panel data. *Actual Problems of Economics and Law*, 14(3), 487–507. (In Russ.). <https://doi.org/10.21202/1993-047X.14.2020.3.487-507>
- Kitsara, I. (2022). Artificial Intelligence and the Digital Divide: From an Innovation Perspective. In A. Bounfour (Ed.), *Platforms and Artificial Intelligence. Progress in IS* (pp. 245–265). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-90192-9_12
- Korovin, G. B. (2023). Comparative Assessment of Digitalisation in Russian Industrial Regions. *Economy of Regions*, 19(1), 60–74. (In Russ.). <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2023-1-5>
- Kravchenko, N., Goryushkin, A., Ivanova, A., Khalimova, S., Kuznetsova, S., & Yusupova, A. (2017). Determinants of growth of small high-tech companies in transition economies. *Model Assisted Statistics and Applications*, 12(4), 399–412. <https://doi.org/10.3233/MAS-170407>
- Lavrikova, Yu. G., Bodrunov, S. D., Akberdina, V. V., & Korovin, G. B. (2024). Digital Transformation of the Economy: Peculiarities of Industrialized Regions. *Economic Revival of Russia*, 1(79), 5–24. (In Russ.). <https://doi.org/10.37930/1990-9780-2024-1-79-5-24>
- Lazzeretti, L., Innocenti, N., Nannelli, M., & Oliva, S. (2023). The emergence of artificial intelligence in the regional sciences: a literature review. *European Planning Studies*, 31(7), 1304–1324. <https://doi.org/10.1080/09654313.2022.2101880>
- Loureiro, S. M. C., Guerreiro, J., & Tussyadiah, I. (2021). Artificial intelligence in business: State of the art and future research agenda. *Journal of Business Research*, 129, 911–926. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.11.001>
- Lundvall, B.-A. (2016). *The learning economy and the economics of hope* (Vol. 242). London; New York, NY: Anthem Press.
- Makridakis, S. (2017). The forthcoming Artificial Intelligence (AI) revolution: Its impact on society and firms. *Futures*, 90, 46–60. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2017.03.006>
- Melnik, A., Naoumova, I., & Ermolaev, K. (2023). Adapting Innovation Development Management Processes to Improve Energy Efficiency and Achieve Decarbonization Goals. *Foresight and STI Governance*, 17(1), 51–66. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2023.1.51.66>
- Mihet, R., & Philippon, Th. (2019). The Economics of Big Data and Artificial Intelligence. In J. J. Choi, & B. Ozkan (Eds.). *Disruptive Innovation in Business and Finance in the Digital World (International Finance Review)*, 20, 29–43. <https://doi.org/10.1108/S1569-376720190000020006>
- Mirolubova, T. V., & Radionova, M. V. (2021). Assessing the Impact of the Factors in the Digital Transformation on the Regional Economic Growth. *Russian Journal of Regional Studies (Regionology)*, 29(3), 486–510. (In Russ.). <https://doi.org/10.15507/2413-1407.116.029.202103.486-510>
- Naumov, I. V., Dubrovskaya, J. V., & Kozonogova, E. V. (2020). Digitalisation of Industrial Production in the Russian Regions: Spatial Relationships. *Economy of Region*, 16(3), 896–910. (In Russ.). <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2020-3-17>
- Rammer, C., Fernández, G. P., & Czarnitzki, D. (2022). Artificial intelligence and industrial innovation: Evidence from German firm-level data. *Research Policy*, 51(7). <https://doi.org/10.1016/j.respol.2022.104555>
- Rogers, E. (2003). *Diffusion of innovations* (5th ed.). Tampa, FL: Free Press.
- Rožanova, N. M. (2023). Industry 5.0: a golden age or a leap into the dark? *Vestnik Instituta Ekonomiki Rossiyskoy Akademii Nauk*, 6, 61–77. (In Russ.). https://doi.org/10.52180/2073-6487_2023_6_61_77
- Sestino, A., Kahlawi, A., & De Mauro, A. (2023). Decoding the data economy: a literature review of its impact on business, society and digital transformation. *European Journal of Innovation Management*. Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/EJIM-01-2023-0078>

- Singh, R., Kumar, K., & Khan, S. (2024). A Comprehensive View of Artificial Intelligence (AI) – Based Technologies for Sustainable Development Goals (SDGs). In R. Singh, S. Khan, A. Kumar, & V. Kumar (Eds.). *Artificial Intelligence Enabled Management: An Emerging Economy* (Chapter 12, pp. 183–196). Berlin, Boston: De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783111172408-012>
- Skvortsov, E. A. (2020). Prospects of Applying Artificial Intelligence Technologies in Regional Agriculture. *Economy of Region*, 16(2), 563–576. (In Russ.). <http://doi.org/10.17059/2020-2-17>
- Smirnov, E. G., & Lukyanov, S. A. (2019). Development of the Global Market of Artificial Intelligence Systems. *Economy of Region*, 15(1), 57–69. (In Russ.). <http://doi.org/10.17059/2019-1-5>
- Song, Z., Wang, C., & Bergmann, L. (2020). China's prefectural digital divide: Spatial analysis and multivariate determinants of ICT diffusion. *International Journal of Information Management*, 52, 102072. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102072>
- Trofimov, V. V. (2019). Artificial intelligence in the digital economy. *Izvestija Sankt-Peterburgskogo Ekonomicheskogo Gosudarstvennogo Universiteta*, 4, 105–109. (In Russ.).
- Varlamova, J. A., & Kadochnikova, E. I. (2024). Determinants of the use of Big Data technologies by organizations in Russian regions. *Journal of Applied Economic Research*, 23(2), 422–451. (In Russ.). <https://doi.org/10.15826/vestnik.2024.23.2.017>
- Varlamova, J., & Kadochnikova, E. (2023). Modeling the Spatial Effects of Digital Data Economy on Regional Economic Growth: SAR, SEM and SAC Models. *Mathematics*, 11(16), 3516. <https://doi.org/10.3390/math11163516>
- Wang, X., He, T., Wang, S., & Zhao, H. (2024). The Impact of Artificial Intelligence on Economic Growth From the Perspective of Population External System. *Social Science Computer Review*, 08944393241246100. <https://doi.org/10.1177/08944393241246100>
- Westerlund, M. (2019). The emergence of deepfake technology: A review. *Technology Innovation Management Review*, 9(11), 40–53. <http://doi.org/10.22215/timreview/1282>
- Xiao, J., & Boschma, R. (2023). The emergence of artificial intelligence in European regions: the role of a local ICT base. *The Annals of Regional Science*, 71(3), 747–773. <https://doi.org/10.1007/s00168-022-01181-3>
- Zemtsov, S. P., & Baburin, V. L. (2017). Modeling of diffusion of innovation and typology of Russian regions: a case study of cellular communication. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, 4, 17–30. (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/s0373244417100024>
- Zemtsov, S. P., Demidova, K. V., & Kichaev, D. Yu. (2022). Internet diffusion and interregional digital divide in Russia: trends, factors, and the influence of the pandemic. *Baltic Region*, 14(4), 57–78. (In Russ.). <http://doi.org/10.5922/2079-8555-2022-4-4>

Вклад авторов

Оба автора внесли равный вклад в написание статьи на всех этапах исследования.

The author's contributions

Both authors contributed equally into writing the paper at all stages of the research.

Конфликт интересов / Conflict of Interest

Авторами не заявлен / No conflict of interest is declared by the authors

История статьи / Article history

Дата поступления / Received 05.07.2024

Дата одобрения после рецензирования / Date of approval after reviewing 25.08.2024

Дата принятия в печать / Accepted 25.08.2024