

Интеллектуальные технологии в аграрном секторе стран БРИКС+: факторы влияния и прогноз развития

О. Т. Ергунова[✉], Е. Г. Киселева, А. Г. Сомов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

[✉]E-mail: ergunova_ot@spbstu.ru

Аннотация. В статье исследуются особенности цифровой трансформации аграрного сектора в странах БРИКС с акцентом на внедрение автоматизации, интеллектуальных систем и технологий искусственного интеллекта. **Цель** исследования – выявление ключевых факторов, определяющих цифровое технологическое развитие аграрного хозяйства в странах БРИКС, а также прогнозирование уровня цифровизации сельского хозяйства. **Методы.** Методологической основой научной работы послужил сравнительный анализ статистических данных, метод многокритериальной оценки показателей CRITIC, метод линейной экстраполяции. **Результаты.** В ходе исследования установлено, что уровень цифрового развития сельского хозяйства стран БРИКС более всего зависит от степени проникновения ИКТ, уровня инвестиций в исследования и разработки, а также уровня цифровой грамотности работников. Выявлены существенные различия в уровне технологической готовности стран: Китай и Бразилия опережают другие страны по внедрению точного земледелия (15,3 % и 13,5 % сельскохозяйственных площадей соответственно), тогда как Эфиопия (менее 1 %) значительно отстает. Результаты прогноза свидетельствуют об устойчивом росте инвестиций в цифровую инфраструктуру, усилении зависимости продуктивности сельского хозяйства от уровня технологического развития и формировании негативных предпосылок на углубление цифрового неравенства. **Научная новизна** исследования заключается в эмпирическом обосновании специфики влияния структурных, инвестиционных и образовательных факторов на цифровизацию сельскохозяйственной отрасли стран БРИКС+, в обосновании неоднородности механизмов цифровой трансформации аграрного сектора в условиях различий в уровне технологической готовности и институционального развития стран стратегического альянса. Результаты исследования могут быть использованы при разработке государственной политики в сфере агротехнологий, а также в формировании международных программ научно-технического сотрудничества стратегического альянса стран БРИКС+. В перспективе целесообразно исследование социально-экономических последствий цифровизации в сельском хозяйстве за счет расширения базы статистических показателей и моделирования адаптивных стратегий преодоления цифровых дисбалансов.

Ключевые слова: цифровые технологии, интеллектуальные технологии, сельское хозяйство, прогнозирование, аграрный сектор, страны БРИКС, инновации

Для цитирования: Ергунова О. Т., Киселева Е. Г., Сомов А. Г. Интеллектуальные технологии в аграрном секторе стран БРИКС+: факторы влияния и прогноз развития // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 09. С. 1783–1803. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1783-1803>.

Дата поступления статьи: 07.08.2025, **дата рецензирования:** 22.04.2026, **дата принятия:** 05.06.2026.

Adoption of intelligent technologies in the BRICS+ agricultural sector: determinants and forecasts

O. T. Ergunova✉, E. G. Kiseleva, A. G. Somov

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia

✉E-mail: ergunova_ot@spbstu.ru

Abstract. Paper examines the digital transformation of the agricultural sector in BRICS+ countries, focusing on the adoption of automation, intelligent systems, and artificial intelligence technologies. **The purpose** of the study is to identify the key determinants of agricultural digitalization in BRICS+ economies and to assess future development trends. **Methods.** The research methodology integrates comparative analysis of cross-country statistical data, the CRITIC multi-criteria weighting method, and trend-based linear extrapolation. This approach enables the identification of dominant drivers of digital transformation and the evaluation of their prospective dynamics.

Results. The findings demonstrate that the level of agricultural digital development in BRICS+ countries is primarily influenced by ICT penetration, investment in research and development, and the digital literacy of the agricultural workforce. Significant heterogeneity in technological readiness is observed: China and Brazil lead in the adoption of precision agriculture, covering 15.3 % and 13.5 % of agricultural land, respectively, while Ethiopia remains substantially behind, with adoption rates below 1 %. Forecast results indicate a sustained increase in investments in digital infrastructure, a growing dependence of agricultural productivity on technological advancement, and the emergence of structural conditions that may intensify digital inequality across BRICS+ countries. **The scientific novelty** of the study lies in the empirical identification of differentiated structural, investment, and human capital drivers of agricultural digitalization, as well as in revealing heterogeneous transformation mechanisms under varying levels of technological readiness and institutional development within the BRICS+ framework. The results may inform public policy design in agrotechnology and support international scientific and technological cooperation initiatives.

Keywords: digital technologies, intelligent technologies, agriculture, forecasting, agricultural sector, BRICS countries, innovations

For citation: Ergunova O. T., Kiseleva E. G., Somov A. G. Adoption of intelligent technologies in the BRICS+ agricultural sector: determinants and forecasts. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (09): 1783–1803. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1783-1803>. (In Russ.)

Date of paper submission: 07.08.2025, **date of review:** 22.04.2026 **date of acceptance:** 05.06.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Цифровизация и интеллектуальные технологии становятся неотъемлемой частью трансформации агропромышленного комплекса в странах БРИКС+. Инновационные решения, включающие искусственный интеллект, анализ больших данных, автоматизированные системы управления и роботизированные технологии существенно меняют структуру сельскохозяйственного производства. Эти изменения направлены на повышение продуктивности, оптимизацию ресурсов и снижение негативного влияния на окружающую среду. Однако уровень внедрения передовых технологий среди стран БРИКС+ остается неравномерным, что обусловлено различиями в инфраструктуре, инвестиционной активности и государственной поддержке. Несмотря на активное развитие цифровых решений в сельском хозяйстве, остаются пробелы в понимании долгосрочных последствий их внедрения и факторов, влияющих на эффективность цифро-

вой трансформации аграрного сектора. Различия в уровнях механизации, доступе к цифровой инфраструктуре и инвестициях в исследования и разработки формируют неоднородную картину развития, требующую детального анализа. К примеру, Китай и Бразилия демонстрируют высокий уровень точного земледелия, тогда как Индия, Южная Африка и Эфиопия значительно отстают по внедрению автоматизированных и цифровых технологий.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью определения ключевых факторов, влияющих на цифровую трансформацию сельского хозяйства стран БРИКС+, а также разработки прогноза их дальнейшего развития с учетом глобальных технологических тенденций. Вопрос о влиянии цифровизации на устойчивое развитие аграрного сектора остается открытым, так как цифровые технологии могут не только повысить эффективность производства, но и привести к росту цифрового неравенства между регионами. В этом контексте воз-

никает необходимость в моделировании сценариев развития и оценке возможных рисков и возможностей. Исследование направлено на изучение взаимосвязи между цифровыми и интеллектуальными технологиями и их влиянием на производственные процессы в сельском хозяйстве стран БРИКС+. В качестве основы используются анализ текущего уровня цифровизации, выявление факторов, способствующих внедрению новых технологий или сдерживающих их, а также прогнозирование динамики технологического развития на основе статистических данных и эконометрических моделей. Ожидается, что полученные результаты позволят определить перспективные направления для государственной политики и частных инвестиций, способствующие ускоренной цифровой трансформации аграрного сектора.

Основной исследовательский вопрос заключается в том, какие факторы определяют уровень цифровизации сельского хозяйства в странах БРИКС и каким образом они будут влиять на дальнейшую трансформацию отрасли. Гипотеза исследования предполагает, что цифровые и интеллектуальные технологии способствуют повышению эффективности агропромышленного комплекса, однако степень их влияния зависит от уровня государственной поддержки, доступности инфраструктуры и готовности кадрового потенциала к работе с инновационными решениями.

В литературе выделяется несколько ключевых направлений анализа, включая влияние инновационных технологий, инвестиции в устойчивое развитие, роль цифровой трансформации и влияние геополитических факторов на сельское хозяйство стран БРИКС. Одним из важнейших аспектов исследования является анализ применения инновационных технологий в аграрном секторе. Согласно О. В. Сальниковой и Л. В. Рожковой, развитие цифровых решений и автоматизированных систем в сельском хозяйстве способствует повышению производительности и снижению затрат [1]. Исследование подчеркивает, что среди стран БРИКС наблюдаются различия в уровнях технологического внедрения, что обусловлено разной степенью государственной поддержки и финансирования инноваций.

Так, авторы статьи [2] указывают, что внедрение роботизации позволит повысить производительность труда, снизить затраты, улучшить качество продукции и сделать сельскохозяйственный труд более привлекательным. Помимо этого, не вызывает сомнений, что переход к роботизации и искусственному интеллекту (ИИ) является частью глобального тренда развития цифровой роботизации в большинстве стран БРИКС, а скорость перехода к индустриализации 5.0 в этих странах будет существенно зависеть от государственной поддержки. Говоря о неоспоримых преимуществах цифрови-

зации и ИИ, важно отметить, что российские ученые считают, что применение, например, умных беспилотных комбайнов в аграрной деятельности способно минимизировать ошибки операторов и сократить затраты на топливо и техническое обслуживание [3; 4].

Важную роль в формировании прогнозов играют вопрос международного сотрудничества и торговли, а также влияние устойчивого развития на аграрный сектор. А. К. Морозкина и В. Ю. Скрыбина рассматривают перспективы расширения торговых отношений стран БРИКС с наименее развитыми странами, подчеркивая значимость координации аграрной политики в рамках международных организаций [5]. В этом контексте стратегические инициативы БРИКС могут способствовать углублению интеграции цифровых технологий в агропромышленный комплекс. Роль биотехнологий в условиях декарбонизации экономики рассматривается в исследовании С. В. Ратнера и А. В. Синельниковой [6]. Они отмечают, что развитие сельского хозяйства в странах БРИКС тесно связано с экологическими инициативами, что требует внедрения передовых методов точного земледелия и управления природными ресурсами. В свою очередь, Н. А. Шеламова подчеркивает важность стратегического управления продовольственной безопасностью, где цифровые технологии могут играть ключевую роль в прогнозировании урожайности и оптимизации логистических цепочек [7].

О. А. Кубасова и Н. А. Лавров анализируют динамику вклада стран БРИКС в мировое сельскохозяйственное производство, подчеркивая значительное влияние технологического прогресса на конкурентоспособность агропромышленного сектора [8]. Их выводы подтверждаются исследованием Н. П. Ворониной, в котором цифровая трансформация рассматривается как ключевой драйвер развития сельскохозяйственной кооперации, способствующий повышению эффективности сельхозпроизводства и минимизации рисков [9]. Аспекты устойчивого развития и барьеры для внедрения цифровых технологий в сельском хозяйстве стран БРИКС детально рассматриваются в работе Н. Ю. Нестеренко [10]. Автор выделяет основные препятствия, включая низкую степень цифровой инфраструктуры в ряде регионов, нехватку квалифицированных кадров и финансовые ограничения на внедрение интеллектуальных решений. Исследование В. А. Лаврентьева, Л. В. Лаврентьевой и Ч. А. Сахедовой анализирует влияние геополитического кризиса на экономическое развитие стран БРИКС, в том числе на их аграрный сектор [11]. В этой связи цифровизация сельского хозяйства рассматривается как стратегический механизм для повышения экономической устойчивости.

Зарубежные авторы, исследуя преимущества цифровизации и искусственного интеллекта в сельском хозяйстве стран БРИКС, акцентируют внимание на их влиянии на продовольственную безопасность, повышение качества продуктов питания и снижение загрязнения окружающей среды. Так, в работе F. Pallottino с соавторами рассматриваются перспективы применения генеративного искусственного интеллекта в сельском хозяйстве [12]. Авторы подчеркивают, что высокоточные технологии позволяют контролировать состояние почвы, оптимизировать внесение удобрений и предсказывать урожайность, что ведет к улучшению качества сельскохозяйственной продукции и снижению потерь. Исследование T. Alka с коллегами анализирует уровень внедрения технологий точного земледелия среди сельскохозяйственных предпринимателей [13]. Подчеркивается, что цифровой контроль на всех этапах агропроизводства способствует более эффективному использованию природных ресурсов, минимизации потерь и сокращению воздействия сельского хозяйства на окружающую среду. В работе E. Jiaduo с соавторами изучается влияние технологических инноваций на агроэкологию и устойчивое развитие [14]. Авторы делают вывод о необходимости баланса между технологическим прогрессом и сохранением окружающей среды, указывая на важность регуляторных механизмов и стимулирования экологически чистого производства. Исследование T. Dutta с коллегами посвящено анализу проблем продовольственного самообеспечения и борьбы с голодом в странах БРИКС [15]. Авторы рассматривают взаимосвязь между развитием устойчивого сельского хозяйства и внедрением цифровых решений для оптимизации агропроизводства, указывая на потенциал цифровых технологий в снижении неравенства в доступе к продовольствию.

В работе T. M. Vorozheykina с соавторами рассматривается концепция умного сельского хозяйства как элемента современной экономической и экологической системы [16]. Авторы анализируют влияние цифровых технологий на сельскохозяйственную кооперацию, повышение производительности и снижение экологической нагрузки, делая акцент на необходимости государственной поддержки цифровой трансформации аграрного сектора.

Прогнозирование уровня развития цифровых и интеллектуальных технологий в сельском хозяйстве стран БРИКС+ является ключевой задачей для оценки перспектив аграрного сектора в условиях глобальной цифровой трансформации. Современные исследования указывают на растущую роль искусственного интеллекта (ИИ), машинного обучения (МО) и интернета вещей (IoT) в повышении эффективности сельскохозяйственного производства,

снижении издержек и минимизации воздействия на окружающую среду [17,18]. Актуальные тенденции цифровизации включают развитие точного земледелия, автоматизированного мониторинга почвы, прогнозирования урожайности и управления водными ресурсами с использованием ИИ. Исследования M. Wang с коллегами подтверждают, что применение искусственных нейронных сетей (ИНС) позволяет анализировать большие массивы данных, полученных с датчиков, спутниковых снимков и дронов, что ведет к повышению точности прогнозов и снижению потерь урожая [19]. Аналогичные выводы сделаны M. Zhu с соавторами, которые исследовали влияние МО и ИНС на улучшение механизмов выявления заболеваний растений, автоматизацию контроля над фитосанитарным состоянием и прогнозирование климатических изменений [20].

В последние годы значительное внимание уделяется прогнозированию урожайности и анализу качества почвы с использованием ИИ. H. Li с коллегами показали, что алгоритмы глубокого обучения повышают точность моделей предсказания урожайности более чем на 20 % по сравнению с традиционными методами [21]. В свою очередь, H. Jiang с соавторами изучили потенциал МО в борьбе с вредителями и разработке адаптивных к климату методов ведения сельского хозяйства, отмечая значительное снижение затрат на пестициды благодаря предсказательному анализу [22].

Цифровизация аграрного сектора в странах БРИКС+ идет неравномерно, что во многом связано с уровнем развития инфраструктуры и государственной поддержкой. Исследования J. Tang с коллегами демонстрируют, что Китай и Бразилия являются лидерами в применении ИИ для управления водными ресурсами и оптимизации ирригационных систем, что позволяет значительно сократить расход воды в сельском хозяйстве [23]. Китайские программы, направленные на развитие умного сельского хозяйства, такие как проект «Цифровое сельское хозяйство», уже включают масштабное внедрение IoT-устройств и машинного обучения для мониторинга состояния почвы и сельскохозяйственных культур [24]. В то же время в Индии и России цифровая трансформация сельского хозяйства развивается с меньшей скоростью, что обусловлено нехваткой инвестиций и недостаточной цифровой грамотностью сельского населения [25]. Помимо растениеводства, технологии ИИ активно внедряются в животноводстве, однако их распространение происходит медленнее. Несмотря на активное внедрение цифровых технологий, остается ряд вызовов, ограничивающих их распространение. Проблемы конфиденциальности данных, нехватка специалистов в области ИИ и высокий уровень первоначальных инвестиций являются ключевыми барьерами для цифровизации сельского хозяйства в

странах БРИКС [26]. Однако, согласно прогнозам, к 2035 году ожидается значительное увеличение доли точного земледелия, расширение использования ИИ в аграрных процессах и внедрение автоматизированных систем управления сельхозпредприятиями, что обеспечит устойчивое развитие сельского хозяйства в долгосрочной перспективе [27; 28].

Таким образом, зарубежные исследования подтверждают ключевую роль цифровых и интеллектуальных технологий в развитии сельского хозяйства стран БРИКС, подчеркивая их значимость для обеспечения продовольственной безопасности, повышения качества продукции, минимизации экологических рисков и формирования устойчивых агропромышленных систем.

Тренд на развитие цифровых и роботизированных технологий в странах БРИКС можно наблюдать, основываясь на статистических данных Всемирного банка. Как видно из рис. 1, постоянный темп роста добавленной стоимости в сельском хозяйстве имеют Китай, Россия и Бразилия. В Индии, Эфиопии и ЮАР в 2023 году при продолжительной положительной динамике наблюдалось небольшое

снижение. Приведенный в диаграмме показатель добавленной стоимости косвенно отражает уровень технологического развития в сельском хозяйстве, поскольку рост производительности через увеличение добавленной стоимости может свидетельствовать о внедрении новых технологий и улучшении методов производства.

С учетом всего вышеперечисленного интересным представляется исследование долгосрочности технологических трендов в сельском хозяйстве посредством построения моделей прогнозирования на основе исторических данных статистических показателей, которые позволят не только выявить основные факторы и условия, влияющие на устойчивость инновационных решений, но и принять обоснованные стратегические решения, направленные на повышение конкурентоспособности и эффективности аграрного сектора в долгосрочной перспективе.

Методология и методы исследования (Methods)

Основная цель разработки методики – создание системы показателей, позволяющей проводить анализ текущего состояния технологического развития аграрного сектора и прогнозировать его динамику.



Рис. 1. Динамика добавленной стоимости в сельском, лесном хозяйстве и рыболовстве на одного работника по странам БРИКС
Источник: составлено авторами на основе [29; 30]

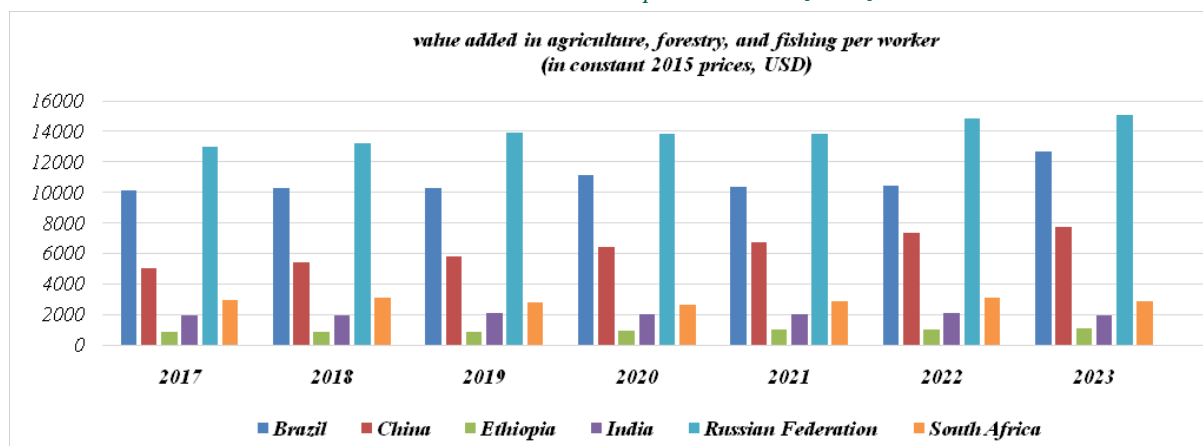


Fig. 1. Dynamics of value added in agriculture, forestry, and fishing per worker in BRICS countries
Source: compiled by the authors based on [29; 30]

Отбор параметров в систему показателей основывается на следующих принципах:

- комплексность – учет различных аспектов цифровизации (инфраструктура, механизация, инновационная активность, социальные и экономические факторы);
- актуальность – использование показателей, которые наиболее полно отражают уровень технологического развития сельского хозяйства на этапе Индустрии 5.0;
- доступность данных – предпочтение параметров, доступных в открытых источниках;
- сравнительная применимость – возможность использования параметров для анализа и прогнозирования на уровне стран, регионов и в сравнении между государствами БРИКС;
- прогностическая ценность – учет показателей, обладающих высокой степенью корреляции с цифровыми, интеллектуальными, роботизированными технологиями.

С учетом вышеперечисленных принципов выбор параметров для построения прогнозной модели осуществляется в несколько этапов (рис. 2).

При этом авторы выделяют два основных ограничения методики: во-первых, ограниченность данных, т. к. в ряде случаев открытые данные могут иметь пробелы или не соответствовать последним изменениям, во-вторых, возможность влияния технологических скачков в результате появления новых революционных технологий.

Первоначально исследуемые параметры сгруппированы по четырем категориям, отражающим развитие аграрного сектора:

- 1) экономические показатели;
- 2) технологическое развитие;
- 3) кадровый и образовательный потенциал;
- 4) экологическая и инфраструктурная составляющая (таблица 1).



Рис. 2. Схема отбора и проверки показателей для прогнозной модели цифрового развития сельского хозяйства
Источник: составлено авторами

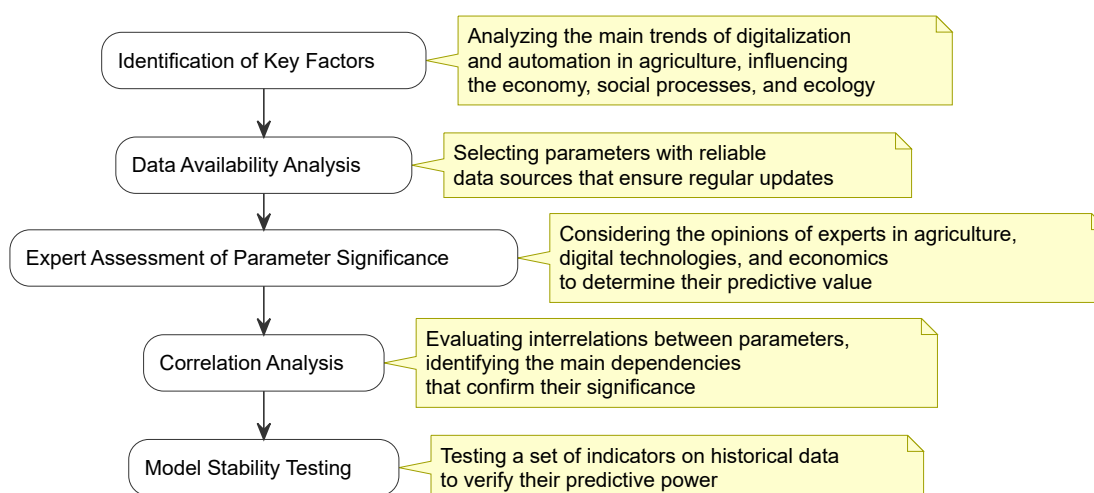


Fig. 2. Scheme for selecting and verifying indicators for a predictive model of digital agricultural development
Source: compiled by the authors

Перечень показателей для оценки уровня цифровизации и передовых технологий в сельском хозяйстве

Показатель	Описание важности
Экономические показатели	
Доля аграрного сектора в ВВП, %	Показывает значимость сельского хозяйства в экономике страны и его вклад в ВВП
Индекс ориентированности на сельское хозяйство, коэффициент	Отражает приоритетность сельского хозяйства в государственной политике, что влияет на развитие технологий
Инвестиции в исследования и разработки в сельском хозяйстве, % от ВВП	Инвестиции в исследования и разработки обеспечивают внедрение инноваций и конкурентоспособность сельского хозяйства
Технологическое развитие	
Уровень механизации сельского хозяйства, ед/га	Определяет уровень автоматизации и механизации сельского хозяйства, что снижает затраты и повышает производительность
Проникновение ИКТ в сельское хозяйство, %	Показывает, насколько аграрный сектор использует цифровые технологии для повышения эффективности
Использование систем управления фермами, % от числа хозяйств	Отражает уровень цифровизации фермерских хозяйств, что повышает контроль и эффективность управления
Использование точного земледелия, % от с/х земель	Оценивает уровень использования передовых технологий, таких как GPS-навигация, датчики и дроны
Образование и кадровый потенциал	
Уровень образования и подготовки кадров, % работников с профильным образованием	Определяет квалификацию работников, что влияет на эффективность внедрения технологий
Занятость мужчин и женщин в сельском хозяйстве, %	Помогает оценить распределение трудовых ресурсов и потенциал автоматизации и цифровизации процессов
Занятость мужчин в сельском хозяйстве, %	Указывает на гендерные особенности занятости и возможные диспропорции в использовании цифровых решений
Экологическая и инфраструктурная составляющая	
Объем производства органической продукции, тыс. т	Демонстрирует внедрение экологически чистых и инновационных методов производства
Уровень цифровой инфраструктуры в сельских районах, % населения	Определяет доступность интернета и цифровых сервисов, необходимых для цифровизации традиционного сельского хозяйства
Доступ к электроэнергии, % населения	Является ключевым фактором для внедрения цифровых технологий и автоматизированных систем в аграрном секторе
Потребление электроэнергии, кВт·ч на 1 человека	Показывает уровень энергопотребления, что важно для оценки возможностей внедрения энергоемких цифровых технологий
Потребление возобновляемой энергии, % от общего конечного энергопотребления	Демонстрирует устойчивость энергетической базы агропромышленного комплекса и его готовность к переходу на умные технологии

Table 1

Indicators for digital and advanced technology implementation in the agricultural sector

Indicator	Meaning
Economic Capacity	
Agriculture value added as % of GDP	Demonstrates the significance of the agricultural sector for the national economy and its contribution to the GDP
Agriculture Orientation Index	Reflects the priority given to agriculture from state policy
Agricultural Research & Development expenditure as % of GDP	Reflects the level of investment in research and development (R&D), which is a fundamental driver of innovation adoption and enhanced competitiveness in agriculture
Technological Capacity	
Agricultural machinery per hectare	Determines the level of automation and mechanization in agriculture, which reduces costs and enhances productivity
ICT Penetration in Agriculture	Indicates the extent to which the agricultural sector employs digital technologies to improve efficiency
Farm management systems adoption	Reflects the degree of digitalization within farming operations, thereby improving control and management efficiency
Precision agriculture usage, %	Assesses the adoption rate of advanced technologies, such as GPS navigation, sensors, and drones

<i>Education Capacity</i>	
<i>Education level in agriculture, %</i>	<i>Determines the workforce's qualification level, which directly impacts the effectiveness of technology adoption</i>
<i>Employment in agriculture, female and male, %</i>	<i>Helps assess the distribution of labor resources and the potential for process automation and digitalization</i>
<i>Employment in agriculture, male, %</i>	<i>Highlights gender-specific employment patterns and potential disparities in the adoption of digital solutions</i>
<i>Environmental and Infrastructure Capacity</i>	
<i>Organic agricultural production, thous. tonnes</i>	<i>Demonstrates the adoption of environmentally friendly and innovative production methods</i>
<i>Rural digital infrastructure coverage, % of total population</i>	<i>Determines the availability of internet and digital services, which are essential for the digitalization of traditional agriculture</i>
<i>Access to electricity, % of total population</i>	<i>Serves as a key enabler for the implementation of digital technologies and automated systems in the agricultural sector</i>
<i>Electric power consumption, kWh per capita</i>	<i>Indicates the level of energy consumption, which is crucial for assessing the feasibility of deploying energy-intensive digital technologies</i>
<i>Renewable energy consumption, % of total final energy consumption</i>	<i>Reflects the resilience of the agro-industrial complex's energy base and its readiness for the transition to smart technologies</i>

После отбора показателей проводится корреляционный анализ с целью определения факторов, наиболее существенно влияющих на цифровое технологическое развитие сельского хозяйства стран БРИКС+. Затем для объективного взвешивания значимости каждого параметра применяется метод CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation). Он позволяет определить веса показателей на основе их информационной насыщенности и степени конфликтности между ними, минимизируя субъективность оценок [31]. Далее на основе полученных весов, а также с учетом исторических трендов, существенности выявленных факторов и вклада каждого ключевого параметра в цифровое развитие строится прогнозная модель ключевых параметров стран на 2035 год. Она учитывает как текущие технологические тренды, так и стратегические программы развития сельского хозяйства в странах БРИКС+.

Методика прогнозирования основана на методе экстраполяции исторических трендов, а также сценарном подходе. Прогнозы итеративно корректируются для обеспечения внутренней согласованности. Метод имеет ограничения: не учитывает возможные резкие изменения и опирается на предположение о продолжении существующих трендов. Модель построена на основе открытой статистики Всемирного банка (World Bank Open Data) и Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO).

Результаты (Results)

В целях выявления взаимосвязей между уровнем цифровой зрелости и экономико-технологическими характеристиками аграрного сектора был проведен корреляционный анализ показателей в таблице 2 по данным за 2023 год. В качестве интегрального показателя цифровой зрелости использован **индекс сетевой готовности** (Network Readiness Index, NRI), отражающий институциональные, инфраструктурные и технологические условия цифровой трансформа-

ции [32]. Комплексная природа NRI, охватывающего технологическую инфраструктуру, человеческий капитал, уровень использования цифровых технологий и институциональную среду, позволяет применять его как обобщенный аналитический показатель при исследовании взаимосвязей цифровизации и развития аграрного сектора стран БРИКС+.

Результаты анализа показывают наличие выраженной положительной взаимосвязи между уровнем цифровой готовности (NRI) и показателями использования цифровых технологий в сельском хозяйстве, уровне образования занятых в аграрном секторе, а также масштабами применения точного и органического земледелия. Это подтверждает гипотезу о том, что на развитие сельскохозяйственного производства в странах БРИКС+ существенно влияет общий уровень цифровой готовности отрасли: с одной стороны, технологическая оснащенность (например, использование умных тракторов и систем точного земледелия), с другой – цифровая грамотность занятых в сельском хозяйстве, включая навыки работы с высокотехнологичным оборудованием, искусственным интеллектом, интернетом вещей и другими цифровыми инструментами.

Исследование выявляет отрицательную корреляцию между индексом сетевой готовности и долей сельского хозяйства в ВВП, что объясняется **закономерностью структурной трансформации экономики**, когда в странах с развитой экономикой сокращение доли сельского хозяйства в ВВП компенсируется ростом его производительности и технологической оснащенности благодаря внедрению интеллектуальных систем и автоматизации. Также выявлены обратные корреляции между значениями NRI и долей занятости в сельском хозяйстве, что подтверждает предыдущий вывод. Это согласуется с глобальными трендами в развитых странах, где цифровизация сопровождается снижением доли первичного сектора в ВВП и занятости, но ростом его эффективности и устойчивости.

Таблица 2
Результаты корреляционного анализа
Table 2
Results of the correlation analysis

	NRI	AGR_GDP	AGRO_ORI	AGRO_TECH	RURAL_NET	AGRO_RD	AGRO_EDU	PREC_AGR	ORG_AREA	DIGI_FARM	AGRO_MEN	AGRO_WOM	ORG_PROD	ELEC_CONS	REN_EN	ELEC_ACC
NRI	1,00															
AGR_GDP	-0,42	1,00														
AGRO_ORI	0,07	0,79	1,00													
AGRO_TECH	0,49	-0,35	-0,27	1,00												
RURAL_NET	0,36	-0,89	-0,84	0,51	1,00											
AGRO_RD	0,03	-0,53	-0,46	0,25	0,53	1,00										
AGRO_EDU	0,79	-0,75	-0,47	0,52	0,82	0,21	1,00									
PREC_AGR	0,71	-0,60	-0,38	0,72	0,72	0,54	0,81	1,00								
ORG_AREA	0,73	0,04	0,57	0,28	-0,23	-0,15	0,21	0,20	1,00							
DIGI_FARM	0,83	-0,70	-0,38	0,67	0,74	0,47	0,89	0,97	0,33	1,00						
AGRO_MEN	-0,24	0,97	0,88	-0,32	-0,92	-0,53	-0,66	-0,51	0,22	-0,58	1,00					
AGRO_WOM	-0,24	0,94	0,83	-0,18	-0,91	-0,56	-0,68	-0,55	0,29	-0,61	0,96	1,00				
ORG_PROD	0,74	0,03	0,57	0,28	-0,23	-0,15	0,22	0,21	1,00	0,34	0,21	0,28	1,00			
ELEC_CONS	-0,29	0,81	0,52	-0,33	-0,57	-0,32	-0,42	-0,27	-0,20	-0,40	0,79	0,66	-0,21	1,00		
REN_EN	-0,32	0,86	0,72	-0,17	-0,66	-0,10	-0,59	-0,29	0,06	-0,43	0,84	0,77	0,04	0,82	1,00	
ELEC_ACC	0,40	-0,85	-0,54	0,40	0,66	0,23	0,58	0,38	0,20	0,51	-0,83	-0,72	0,20	-0,97	-0,86	1,00

Условные обозначения: NRI – индекс сетевой готовности; AGR_GDP – доля аграрного сектора в ВВП; AGRO_ORI – индекс ориентированности на сельское хозяйство; AGRO_TECH – сельскохозяйственная техника; RURAL_NET – доступ к интернету в сельской местности; AGRO_RD – расходы на сельскохозяйственные исследования и разработки; AGRO_EDU – занятые в сельском хозяйстве с высшим образованием; PREC_AGR – площадь под точным земледелием; ORG_AREA – площадь органического земледелия, тыс. га; DIGI_FARM – использование цифровых технологий в фермерских хозяйствах; AGRO_MEN – занятость в сельском хозяйстве (мужчины); AGRO_WOM – занятость в сельском хозяйстве (женщины); ORG_PROD – объем производства органической продукции; ELEC_CONS – Потребление электроэнергии; REN_EN – потребление возобновляемой энергии; ELEC_ACC – доступ к электроэнергии.

Notation: NRI – Network Readiness Index; AGR_GDP – agricultural value added as a percentage of GDP; AGRO_ORI – Agriculture Orientation Index; AGRO_TECH – agricultural machinery availability; RURAL_NET – rural internet access; AGRO_RD – agricultural research and development expenditure; AGRO_EDU – share of agricultural employment with higher education; PREC_AGR – area under precision agriculture; ORG_AREA – organic farming area; DIGI_FARM – use of digital technologies in farming, %; AGRO_MEN – male employment in agriculture; AGRO_WOM – female employment in agriculture; ORG_PROD – organic agricultural production; ELEC_CONS – electric power consumption per capita; REN_EN – renewable energy consumption; ELEC_ACC – access to electricity.



Рис. 3. Процентный вклад каждого параметра в оценку уровня цифровизации и передовых технологий в сельском хозяйстве
Источник: составлено авторами на основе [29; 30; 33]

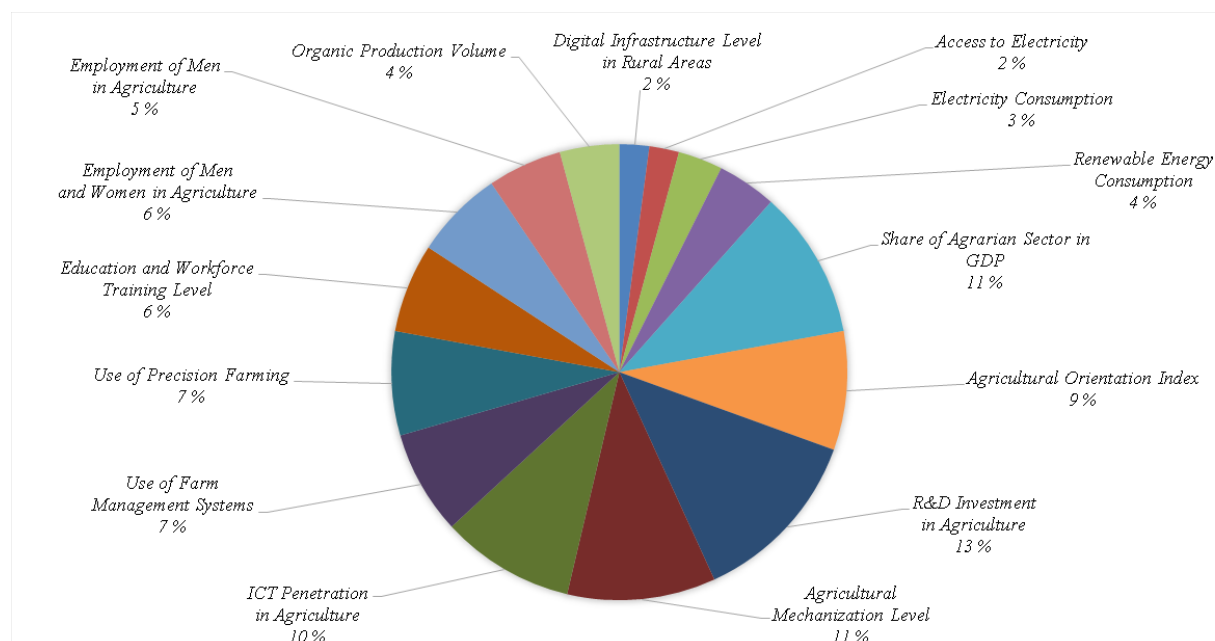


Fig. 3. The percentage contribution of each parameter to the assessment of the level of digitalization and advanced technologies in agriculture
Source: compiled by the authors based on [29; 30; 33]

Далее на основе статистических данных за 2023 год была составлена круговая диаграмма (рис. 3), которая демонстрирует процентный вклад исследуемых параметров в оценку уровня цифровизации и передовых технологий в сельском хозяйстве, включая механизацию, проникновение ИКТ, инвестиции в R&D и уровень цифровой инфраструктуры. Диаграмма показывает факторы, определяющие развитие аграрного сектора под влиянием технологического прогресса и цифровых решений.

При построении диаграммы использовалась методика CRITIC с предварительным нормированием исходных данных [31]. Она направлена на минимизацию субъективности при определении значимости параметров.

На первом шаге мы нормируем данные, приводя все показатели к сопоставимому масштабу с помощью min-max-нормирования, чтобы устранить влияние различий в единицах измерения и диапазонах значений. На втором шаге оцениваем инфор-

мативность показателей, рассчитывая для каждого стандартное отклонение по странам: чем выше вариативность, тем показатель более дифференцирует страны и потенциально информативнее. На третьем шаге учитываем дублируемость показателей: на основе матрицы корреляций уменьшаем удельные веса тех показателей, которые сильно коррелируют с другими, чтобы избежать дублирования вклада. На четвертом шаге рассчитываем объективные веса методом CRITIC, определяя вес каждого показателя пропорционально произведению его стандартного отклонения и суммы факторов конфликтности показателей между собой, что позволяет выделить те из них, которые хорошо различают страны и не дублируют другие параметры. На пятом шаге нормируем полученные веса до суммы 100 % и визуализируем их с помощью круговой диаграммы, где каждый сектор отражает процентный вклад показателя в интегральную оценку уровня цифровизации и внедрения передовых технологий в сельском хозяйстве.

На круговой диаграмме видно, что наибольший вклад в формирование уровня цифровизации и внедрения передовых технологий в сельском хозяйстве вносят инвестиции в исследования и разработки в аграрном секторе (13 %), а также уровень механизации сельского хозяйства и доля аграрного сектора в ВВП (по 11 %). Это свидетельствует о том, что цифровая трансформация аграрного производства в первую очередь определяется структурными и технологическими факторами, отражающими как капиталоемкость отрасли, так и ее макроэкономическую значимость. Существенную роль также играют проникновение ИКТ в сельском хозяйстве (10 %) и индекс ориентированности экономики на сельское хозяйство (9 %), что подчеркивает зависимость цифровизации от степени приоритетности аграрного сектора в национальной экономике и уровня его технологической включенности.

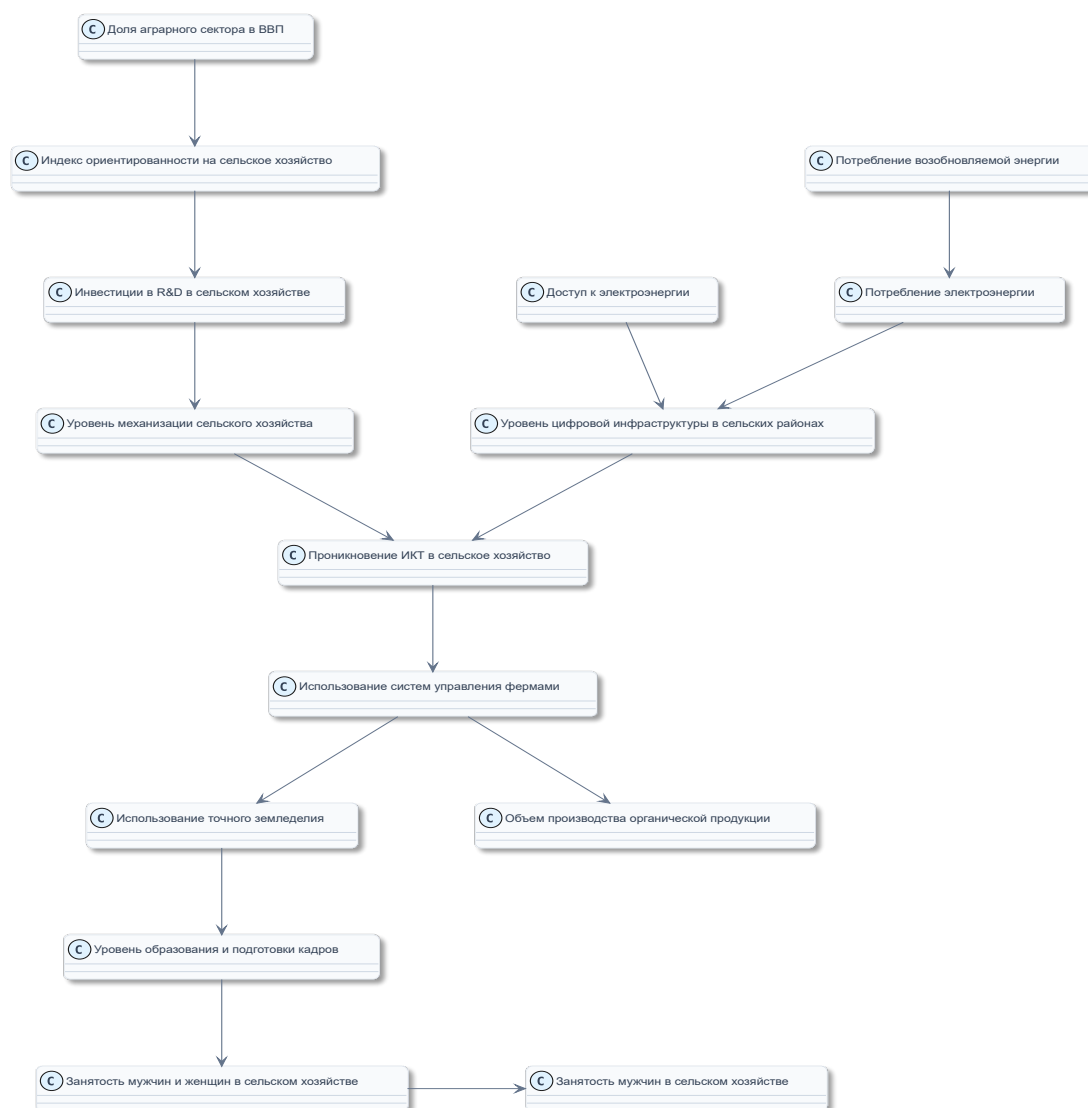


Рис. 4. Схема, отображающая взаимные зависимости параметров, оценивающих уровень цифровизации и ИИ в сельском хозяйстве
Источник: составлено авторами

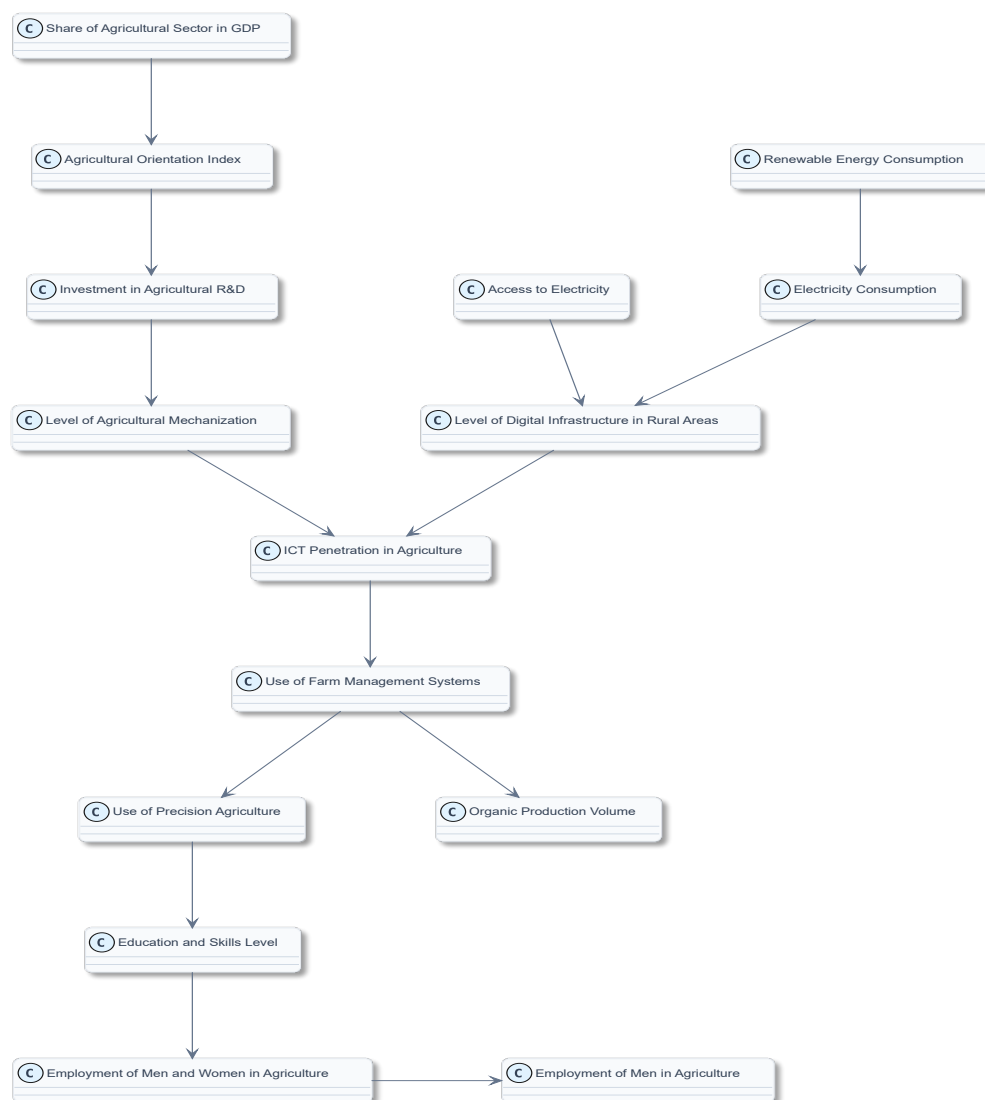


Fig. 4. Diagram showing the mutual dependencies of parameters that assess the level of digitalization and AI in agriculture

Source: compiled by the authors

В целом распределение долей на круговой диаграмме отражает комплексный характер цифровой зрелости сельского хозяйства, формируемой на пересечении инфраструктурных, технологических, инвестиционных и человеческих факторов. Это подтверждает необходимость системного подхода к цифровизации аграрного сектора, особенно для стран БРИКС+, характеризующихся высокой неоднородностью уровня развития данных компонентов.

Отметим также, что взаимосвязь и взаимное влияние анализируемых показателей важны для понимания уровня цифровизации и использования ИИ в сельском хозяйстве. В целях наглядной визуализации указанных взаимосвязей и демонстрации их роли в формировании цифровой зрелости сельского хозяйства была разработана концептуальная схема, представленная на рис. 4.

Также представляется интересным сравнение стран БРИКС по отобранным параметрам за 2023 год (таблица 3).

Таблица 3 демонстрирует значительные различия в уровне развития сельского хозяйства, цифровизации и инноваций, устойчивости технологий в странах БРИКС. Индия имеет самую высокую долю аграрного сектора в ВВП (18,3 %) среди исходных стран БРИКС, в то время как ЮАР демонстрирует наименьший показатель (2,4 %). Китай обладает самым высоким индексом ориентированности на сельское хозяйство (0,67) среди оригинальных членов БРИКС, значительно опережая ЮАР с показателем 0,21. Бразилия лидирует среди стран оригинального БРИКС по количеству сельскохозяйственной техники (132 трактора на 100 кв. км пахотных земель), тогда как Россия имеет наименьший показатель (27). Россия демонстрирует наилучший доступ к интернету в сельской местности (77,3 %) среди первоначальных стран БРИКС, что более чем в два раза превышает показатель Индии (38,5 %). ЮАР выделяется наибольшими расходами на сельскохозяйственные исследования и раз-

работки (2,02 % от сельскохозяйственной валовой добавленной стоимости) среди изначальных членов БРИКС. Китай лидирует среди оригинальных стран БРИКС по проценту занятых в сельском хозяйстве с высшим образованием (19,6 %), что почти в четыре раза выше показателя Индии (5,4 %). По площади точного земледелия лидирует Китай (15,3 % от общей сельскохозяйственной площади) среди первоначальных стран БРИКС. Китай также обладает крупнейшей площадью органического земледелия (4139,1 тыс. га) среди оригинальных членов

БРИКС, что в 50 раз превышает показатель ЮАР (82,2 тыс. га). По использованию цифровых технологий в фермерских хозяйствах Китай занимает первое место (35,3 %) среди стран оригинального БРИКС, что в три раза выше показателя Индии (10,2 %). Среди новых членов БРИКС выделяются ОАЭ с почти полным доступом к интернету в сельской местности (98,5 %) и высоким уровнем цифровизации сельского хозяйства, а Эфиопия демонстрирует самую высокую долю аграрного сектора в ВВП (35,2 %) среди всех представленных стран.

Таблица 3

Перечень численных значений параметров, оценивающих уровень развития сельского хозяйства, цифровизации и передовых технологий стран БРИКС за 2023 год

Параметр	Бразилия	Россия	Индия	Китай	ЮАР	Египет	Эфиопия	Иран	ОАЭ
Доля аграрного сектора в ВВП, %	7,8	4,1	18,3	7,3	2,4	11,5	35,2	9,8	0,9
Индекс ориентированности на сельское хозяйство	0,48	0,32	0,58	0,67	0,21	0,44	0,77	0,35	0,12
Сельскохозяйственная техника, тракторы на 100 кв. км пахотных земель	132	27	159	96	43	39	4	16	226
Доступ к интернету в сельской местности, %	73,9	77,3	38,5	54,6	68,4	52,4	19,2	54,3	98,5
Расходы на сельскохозяйственные исследования и разработки, % от с/х ВДС	1,82	0,37	0,28	0,62	2,02	0,44	0,19	0,37	н/д
Занятые в сельском хозяйстве с высшим образованием, %	12,5	17,7	5,4	19,6	9,1	8,2	1,7	7,5	22,8
Площадь под точным земледелием, % от общей с/х площади	13,5	3,8	2,1	15,3	8,7	2,9	< 1	2,2	21,4
Площадь органического земледелия, тыс. га	1 282,1	674,4	2 657,9	4 139,1	82,2	121,0	359,2	50,1	4,7
Использование цифровых технологий в фермерских хозяйствах, %	25,7	16,4	10,2	35,3	19,8	8,3	2,6	11,4	38,5
Занятость в сельском хозяйстве, мужчины, %	15,3	8,2	38,7	29,5	7,9	25,1	72,6	17,4	3,1
Занятость в сельском хозяйстве, женщины, %	9,4	6,1	55,8	24,3	5,2	21,9	68,4	12,6	0,4
Объем производства органической продукции, тыс. т	879,4	412,6	1 918,3	3 126,5	55,7	89,3	215,8	42,9	2,8
Потребление электроэнергии, кВт·ч на 1 человека	2 485	6 943	1 208	5 312	3 880	1 671	76	3 165	11 573
Потребление возобновляемой энергии, % от общего конечного энергопотребления	43,8	3,2	31,4	12,4	10,7	5,6	88,4	1,3	0,7
Доступ к электроэнергии, % от численности населения	99,8	100	96,7	100	91,2	100	48,3	100	100

Источник: составлено авторами на основе [10].

*Table 3
The set of quantitative indicators for evaluating agricultural development, digitalization, and advanced technology adoption in BRICS countries, 2023*

<i>Indicator</i>	<i>Brazil</i>	<i>Russia</i>	<i>India</i>	<i>China</i>	<i>South Africa</i>	<i>Egypt</i>	<i>Ethiopia</i>	<i>Iran</i>	<i>UAE</i>
<i>Share of agricultural sector in GDP, %</i>	7.8	4.1	18.3	7.3	2.4	11.5	35.2	9.8	0.9
<i>Agriculture Orientation Index</i>	0.48	0.32	0.58	0.67	0.21	0.44	0.77	0.35	0.12
<i>Agricultural machinery, tractors per 100 sq km of arable land</i>	132	27	159	96	43	39	4	16	226
<i>Rural internet access, %</i>	73.9	77.3	38.5	54.6	68.4	52.4	19.2	54.3	98.5
<i>Agricultural R&D expenditure, % of Agricultural GVA</i>	1.82	0.37	0.28	0.62	2.02	0.44	0.19	0.37	No data
<i>Employment in agriculture with higher education, %</i>	12.5	17.7	5.4	19.6	9.1	8.2	1.7	7.5	22.8
<i>Precision farming area, % of total agricultural area</i>	13.5	3.8	2.1	15.3	8.7	2.9	< 1	2.2	21.4
<i>Organic farming area, thousand hectares</i>	1 282.1	674.4	2 657.9	4 139.1	82.2	121.0	359.2	50.1	4.7
<i>Use of digital technologies on farms, %</i>	25.7	16.4	10.2	35.3	19.8	8.3	2.6	11.4	38.5
<i>Employment in agriculture, male, %</i>	15.3	8.2	38.7	29.5	7.9	25.1	72.6	17.4	3.1
<i>Employment in agriculture, female, %</i>	9.4	6.1	55.8	24.3	5.2	21.9	68.4	12.6	0.4
<i>Organic production output, thousand tons</i>	879.4	412.6	1 918.3	3 126.5	55.7	89.3	215.8	42.9	2.8
<i>Electric power consumption, kWh per capita</i>	2 485	6 943	1 208	5 312	3 880	1 671	76	3 165	11 573
<i>Renewable energy consumption, % of total final energy consumption</i>	43.8	3.2	31.4	12.4	10.7	5.6	88.4	1.3	0.7
<i>Electricity access, % of population</i>	99.8	100	96.7	100	91.2	100	48.3	100	100

Source: compiled by the authors based on [33].

Выполним прогноз выбранных параметров на 2035 год для стран БРИКС. Отметим ключевые тенденции, которые повлияли на результат прогноза:

1. Структурные экономические изменения:
 - снижение доли аграрного сектора в ВВП в большинстве развивающихся стран при одновременном повышении его эффективности;
 - изменение индекса ориентированности в соответствии с национальными стратегиями продовольственной безопасности
2. Технологический прогресс:
 - значительный рост механизации сельского хозяйства, особенно в странах с низким начальным уровнем;
 - повсеместное распространение интернета в сельской местности, наиболее заметное в развивающихся странах;
 - увеличение инвестиций в R&D как часть стратегии повышения конкурентоспособности.
3. Трансформация аграрных практик:
 - рост образовательного уровня занятых в сельском хозяйстве;
 - экспоненциальное увеличение площадей точного земледелия в связи с развитием технологий и политикой устойчивого развития;

– расширение органического земледелия в ответ на растущий спрос на экологически чистую продукцию;

– ускоренная цифровизация фермерских хозяйств как результат технологической революции и государственных программ поддержки.

Повторим, что в исследовании использован комбинированный трендово-сценарный подход, сочетающий элементы статистической экстраполяции и качественной интерпретации институциональных условий развития. Данный подход широко применяется в исследованиях социально-экономических систем с высокой степенью инерционности и ограниченной наблюдаемостью резких структурных сдвигов, к которым относится аграрный сектор.

Прогноз построен на предположении относительной устойчивости выявленных технологических и инвестиционных трендов при сохранении текущих стратегических ориентиров стран БРИКС в области продовольственной безопасности, цифровизации и устойчивого развития.

Этапы прогнозирования:

1. Анализ исторических трендов исследуемых показателей. Изучается динамика каждого показателя за предшествующий период для выявления

направления и темпов изменений. Например, для добавленной стоимости в сельском хозяйстве анализируется период 2010–2023 гг.

2. Экстраполяция с учетом ограничений. Выявленные тренды продлеваются на горизонт прогноза.

Этап 3. Качественные корректировки. Экстраполированные значения корректируются на основе национальных стратегий развития сельского хозяйства каждой страны; заявленных государственных программ цифровизации АПК; глобальных прогнозов развития агротехнологий.

Этап 4. Обеспечение внутренней согласованности. Итеративная проверка и корректировка прогнозных значений для устранения противоречий между показателями (например, рост цифровизации фермерских хозяйств должен коррелировать с ростом доступа к интернету в сельской местности).

Отметим также, что прогноз построен на предположениях о продолжении текущих тенденций и может не учитывать непредвиденные события или радикальные изменения в политике стран. Результаты прогнозирования представлены в таблице 4.

Таблица 4
Прогноз на 2035 год, основанный на текущих трендах, численных значений параметров, оценивающих уровень цифровизации и ИИ в сельском хозяйстве стран БРИКС

Параметр	Бразилия	Россия	Индия	Китай	ЮАР	Египет	Эфиопия	Иран	ОАЭ
Доля аграрного сектора в ВВП, %	5,9	3,2	12,5	5,1	2,0	9,7	26,8	7,9	0,7
Индекс ориентированности на сельское хозяйство	0,42	0,35	0,52	0,58	0,19	0,48	0,70	0,38	0,15
С/х техника, тракторы на 100 кв. км пахотных земель	198	65	238	175	82	78	15	42	295
Доступ к интернету в сельской Местности, %	95,4	96,2	74,3	89,5	89,7	85,6	48,5	81,2	99,8
Расходы на с/х R&D, % от с/х ВДС	2,45	0,98	0,75	1,45	2,65	0,82	0,42	0,76	1,85
Занятые в сельском хозяйстве с высшим образованием, %	21,8	28,4	14,7	32,5	17,6	16,5	5,2	14,8	35,6
Площадь под точным земледелием, % от общей с/х площади	32,6	18,5	12,7	38,4	22,3	14,6	4,8	11,5	45,2
Площадь органического земледелия, тыс. га	2154	1523	4875	7261	248	352	725	178	15
Использование цифровых технологий в фермерских Хозяйствах, %	58,4	42,7	35,6	67,2	45,3	27,6	12,4	32,8	72,3
Занятость в сельском хозяйстве, Мужчины, %	8,7	5,6	25,3	18,7	6,2	19,8	58,4	13,5	1,8
Занятость в сельском хозяйстве, Женщины, %	5,2	4,0	36,4	15,8	3,9	16,5	54,2	9,4	0,2
Объем производства органической продукции, тыс. тонн	1 524,6	982,5	3 642,7	5 487,2	176,3	264,8	458,9	152,4	9,5
Потребление электроэнергии, кВт·ч на человека	3 540	8 250	2 580	7 840	5 120	2 850	320	4 250	14 250
Потребление возобновляемой энергии, % от общего конечного энергопотребления	65,2	12,8	48,6	28,3	25,4	18,7	92,5	8,4	12,6
Доступ к электроэнергии, % населения	100	100	99,5	100	98,7	100	78,6	100	100

Источник: составлено авторами.

Table 4
Forecast for 2035 based on current trends and numerical values of indicators assessing the level of digitalization and AI in agriculture in BRICS countries

Indicator	Brazil	Russia	India	China	South Africa	Egypt	Ethiopia	Iran	UAE
Share of agricultural sector in GDP, %	5.9	3.2	12.5	5.1	2.0	9.7	26.8	7.9	0.7
Agricultural orientation index	0.42	0.35	0.52	0.58	0.19	0.48	0.70	0.38	0.15

<i>Agricultural Machinery, tractors per 100 sq. km of arable land</i>	198	65	238	175	82	78	15	42	295
<i>Internet access in rural areas, %</i>	95.4	96.2	74.3	89.5	89.7	85.6	48.5	81.2	99.8
<i>Agricultural R&D expenditure, % of agricultural GVA</i>	2.45	0.98	0.75	1.45	2.65	0.82	0.42	0.76	1.85
<i>Agricultural workers with higher education, %</i>	21.8	28.4	14.7	32.5	17.6	16.5	5.2	14.8	35.6
<i>Area under precision agriculture, % of total agricultural area</i>	32.6	18.5	12.7	38.4	22.3	14.6	4.8	11.5	45.2
<i>Organic farming area, thousand ha</i>	2154	1523	4875	7261	248	352	725	178	15
<i>Use of digital technologies in farming, %</i>	58.4	42.7	35.6	67.2	45.3	27.6	12.4	32.8	72.3
<i>Employment in agriculture, men, %</i>	8.7	5.6	25.3	18.7	6.2	19.8	58.4	13.5	1.8
<i>Employment in agriculture, women, %</i>	5.2	4.0	36.4	15.8	3.9	16.5	54.2	9.4	0.2
<i>Organic production volume, thousand tons</i>	1 524.6	982.5	3 642.7	5 487.2	176.3	264.8	458.9	152.4	9.5
<i>Electricity consumption, kWh per capita</i>	3 540	8 250	2 580	7 840	5 120	2 850	320	4 250	14 250
<i>Renewable energy consumption, % of total final energy consumption</i>	65.2	12.8	48.6	28.3	25.4	18.7	92.5	8.4	12.6
<i>Access to electricity, % of population</i>	100	100	99.5	100	98.7	100	78.6	100	100

Source: complied by the authors.

Сравнительный анализ текущего состояния и прогноза развития сельского хозяйства стран БРИКС+ до 2035 года выявляет устойчивую тенденцию к модернизации и цифровизации аграрного сектора при одновременном снижении его доли в структуре ВВП всех рассматриваемых стран. Наиболее динамичное развитие прогнозируется в области технологического оснащения, где ожидается существенный рост количества сельскохозяйственной техники, особенно заметный в странах с изначально низким уровнем механизации – России (с 27 до 65 тракторов на 100 кв. км) и Эфиопии (с 4 до 15). Цифровая трансформация продолжит активно проникать в сельские территории, что особенно отразится на показателях Индии и Эфиопии, где доступ к интернету в сельской местности увеличится почти вдвое, создавая основу для внедрения современных аграрных технологий. Значительный прорыв ожидается в области точного земледелия, площадь которого в среднем по странам БРИКС+ вырастет в 2,5–3 раза, что свидетельствует о переходе к ресурсосберегающим и высокоэффективным методам ведения сельского хозяйства. Сильнейший рост прогнозируется в сфере цифровизации фермерских хозяйств, где показатели использования цифровых технологий увеличатся в 2–3 раза во всех странах с наибольшей динамикой в Бразилии, России и Индии. Органическое земледелие продолжит расширяться, отражая глобальный тренд на экологизацию сельскохозяйственного производства, наиболее заметным прогресс будет в Китае, Индии и

Бразилии, где площади под органическим земледелием увеличатся почти вдвое. Уровень образования в аграрном секторе значительно возрастет, что проявится в увеличении доли занятых с высшим образованием, особенно в Индии (с 5,4 % до 14,7 %) и Эфиопии (с 1,7 % до 5,2 %), демонстрируя тенденцию к интеллектуализации сельскохозяйственного труда. Расходы на сельскохозяйственные исследования и разработки существенно вырастут во всех странах БРИКС+, что отражает стратегическую переориентацию на инновационное развитие отрасли, при этом наиболее заметный прогресс ожидается в России (с 0,37 % до 0,98 %) и Китае (с 0,62 % до 1,45 %). Несмотря на относительное снижение индекса ориентированности на сельское хозяйство в некоторых странах, абсолютная эффективность аграрного сектора вырастет благодаря синергетическому эффекту от внедрения передовых технологий, цифровизации и повышения квалификации рабочей силы. Таким образом, к 2035 году страны БРИКС+ преобразуют свой сельскохозяйственный сектор от преимущественно экстенсивной модели к высокотехнологичной, интенсивной и устойчивой системе.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Проведенный корреляционный анализ и объективное взвешивание показателей методом CRITIC позволили выявить ключевые детерминанты цифровой трансформации аграрного сектора стран БРИКС. Установлена сильная положительная связь между общим уровнем цифровой готовности эко-

номики и конкретными показателями технологического развития сельского хозяйства: использованием цифровых технологий в фермерских хозяйствах, площадями точного и органического земледелия, а также уровнем образования занятых в секторе. Одновременно выявлены отрицательные корреляции, которые отражают глобальный тренд структурной трансформации: снижение доли аграрного сектора в экономике компенсируется ростом его производительности за счет внедрения интеллектуальных технологий и автоматизации. Результаты многокритериального анализа показали, что наибольший вклад в формирование уровня цифровизации сельского хозяйства вносят инвестиции в исследования и разработки в аграрном секторе, уровень механизации сельского хозяйства и макроэкономическая значимость отрасли, выраженная через долю аграрного сектора в ВВП. Существенную роль также играют проникновение ИКТ в сельском хозяйстве и степень ориентированности национальной экономики на аграрный сектор, что подчеркивает зависимость цифровой трансформации от приоритетов государственной политики и уровня технологической интеграции отрасли.

В совокупности это позволяет сделать вывод о том, что цифровая трансформация аграрного сектора стран БРИКС носит системный характер и определяется взаимодействием технологической оснащенности, инвестиционной активности, институциональной поддержки и готовности кадрового потенциала к работе с цифровыми и интеллектуальными технологиями. В целом полученные результаты подтверждают выдвинутую гипотезу исследования. Авторы также пришли к выводу, что недостаточное развитие хотя бы одного из указанных компонентов способно существенно замедлять процессы цифровизации и усиливать межстрановые различия в уровне технологического развития сельского хозяйства.

Анализ результатов прогнозного тренда показывает, что цифровизация и внедрение интеллектуальных технологий являются ключевыми драйверами развития аграрного сектора стран БРИКС. Различия в темпах цифровизации стран обусловлены уровнем государственной поддержки, инфраструктурными возможностями и существенными различиями в уровне экономического, технологического, кадрового развития. В 2023 году ЮАР лидировала по доле инвестиций в сельскохозяйственные исследования (2,02 % от ВВП агросектора), в то время как Индия (0,28 %) и Эфиопия (0,19 %) демонстрировали более низкие показатели. Внедрение точного земледелия остается неравномерным: если в Китае и Бразилии этот показатель составляет 15,3 % и 13,5 % сельскохозяйственных площадей соответственно, то в Эфиопии он не превышает 1 %. Ожидается, что к 2035 году Китай достигнет

уровня использования точного земледелия 38,4 %, а Бразилия – 32,6 %, что свидетельствует о переходе к более технологически интенсивным методам ведения сельского хозяйства. Важной тенденцией является рост механизации сельского хозяйства, особенно в странах с низкими текущими показателями. Так, в Эфиопии ожидается увеличение количества тракторов с 4 до 15 на 100 кв. км, в России – с 27 до 65, а в Китае – с 96 до 175. Доступ к интернету в сельской местности также продолжит расти: в Индии прогнозируется увеличение с 38,5 % в 2023 году до 74,3 % в 2035 году, что создаст основу для масштабной цифровизации фермерских хозяйств. Существенные изменения затронут и уровень образования кадров: ожидается рост доли работников с высшим образованием в сельском хозяйстве, особенно в Индии (с 5,4 % до 14,7 %) и Эфиопии (с 1,7 % до 5,2 %), что свидетельствует о постепенной интеллектуализации сельскохозяйственного труда. Прогнозируемое развитие технологий также приведет к увеличению расходов на исследования и разработки, что обеспечит рост конкурентоспособности агросектора в этих странах. В России инвестиции в R&D увеличатся с 0,37 % до 0,98 % ВВП агросектора, а в Китае – с 0,62 % до 1,45 %, что свидетельствует о стратегической переориентации на инновационное развитие отрасли. Ожидается значительное расширение использования цифровых технологий в фермерских хозяйствах, особенно в Китае и Бразилии, где показатель достигнет 67,2 % и 58,4 % соответственно.

Таким образом, к 2035 году страны БРИКС пройдут трансформационный путь от преимущественно традиционного сельского хозяйства к высокотехнологичной и устойчивой модели агропромышленного комплекса. Внедрение цифровых и интеллектуальных технологий, активное использование точного земледелия и автоматизированных систем управления сельскохозяйственным производством, а также повышение уровня образования кадров позволят значительно повысить производительность, устойчивость и конкурентоспособность аграрного сектора в долгосрочной перспективе.

Несмотря на очевидные преимущества цифровизации в сельском хозяйстве, исследование выявило ряд проблемных областей, требующих дальнейшего изучения. В частности, остается открытым вопрос о дифференциации цифровизации среди регионов внутри отдельных стран, где разрыв между технологически развитыми и слабо развитыми аграрными зонами продолжает углубляться. Доступность цифровых решений, особенно для малых и средних фермерских хозяйств, также остается нерешенной проблемой, требующей разработки финансовых механизмов поддержки и программ обучения. Кроме того, влияние цифровых технологий на рынок труда в сельском хозяйстве требует

дополнительного анализа, поскольку автоматизация и внедрение ИИ могут привести к структурным изменениям в занятости.

Перспективными направлениями дальнейших исследований могут стать разработка и внедрение новых бизнес-моделей для цифрового сельского хозяйства, оценка влияния искусственного интеллекта на устойчивость аграрных экосистем, а также изучение факторов, определяющих успеш-

ность государственной поддержки цифровизации в сельском хозяйстве. Включение в будущее исследования комплексных методов прогнозирования и машинного обучения позволит повысить точность предсказания технологических тенденций и разработать адаптивные стратегии для стран БРИКС, способствующие устойчивому развитию их агропромышленного комплекса.

Библиографический список

1. Сальникова О. В., Рожкова Л. В. Применение инновационных технологий в сельском хозяйстве стран БРИКС // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. 2021. № 1 (57). С. 115–126. DOI: 10.21685/2072-3016-2021-1-10.
2. Скорцов Е. А., Скорцова Е. Г., Санду И. С., Иовлев Г. А. Переход сельского хозяйства к цифровым, интеллектуальным и роботизированным технологиям // Экономика региона. 2018. Т. 14, вып. 3. С. 1014–1028. DOI: 10.17059/2018-3-23.
3. Sokolov A., Shashnov S., Kotsemir M. From BRICS to BRICS plus: selecting promising areas of S&T cooperation with developing countries // Scientometrics. 2021. Vol. 126. Pp. 8815–8859. DOI: 10.1007/s11192-021-04142-3.
4. Запорожцева Л. А., Измайлов М. К., Арбенина Е. А., Леонова Н. В. Использование цифровых инструментов и технологий для повышения эффективности деятельности субъектов аграрного сектора ЦФО России // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17, № 2 (81). С. 168–175. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2024_2_168
5. Морозкина А. К., Скрыбина В. Ю. БРИКС и партнерство в интересах устойчивого развития: перспективы расширения торговли с наименее развитыми странами // Вестник международных организаций: образование, наука, новая экономика. 2021. Т. 16, № 1. С. 85–106. DOI: 10.17323/1996-7845-2021-01-04.
6. Ратнер С. В., Синельникова А. В. Сравнительный анализ развития рынков биотехнологий в странах БРИКС в условиях декарбонизации мировой экономики // Экономический анализ: теория и практика. 2022. Т. 21, № 7 (526). С. 1265–1290. DOI: 10.24891/ea.21.7.1265.
7. Шеламова Н. А. Стратегические направления укрепления продовольственной безопасности стран БРИКС на современном этапе // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2023. № 9. С. 10–15. DOI: 10.31442/0235-2494-2023-0-9-10-15.
8. Кубасова О. А., Лавров Л. А. Динамика вклада стран БРИКС в мировое производство сельскохозяйственной продукции // Социально-экономическая география: теория, методология и практика преподавания: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Москва, 2022. С. 91–98.
9. Воронина Н. П. Цифровая трансформация сельского хозяйства как драйвер развития сельскохозяйственной кооперации: правовое обеспечение и стратегическое планирование // Международный научно-исследовательский журнал. 2024. № 4 (142). DOI: 10.23670/IRJ.2024.142.23.
10. Нестеренко Н. Ю. Возможности и барьеры устойчивого развития сельского хозяйства в странах БРИКС // АПК: экономика, управление. 2023. № 12. С. 110–121. DOI: 10.33305/2312-110.
11. Лаврентьев В. А., Лаврентьева Л. В., Сахедова Ч. А. Страны БРИКС и их влияние на мировую экономику в условиях геополитического кризиса [Электронный ресурс] // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. 2022. № 6 (64). С. 51–57. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/strany-briks-i-ih-vliyanie-na-mirovuyu-ekonomiku-v-usloviyah-geopoliticheskogo-krizisa> (дата обращения: 20.09.2025).
12. Pallottino F., Violino S., Figorilli S., et al. Applications and perspectives of Generative Artificial Intelligence in agriculture // Computers and Electronics in Agriculture. 2025. Vol. 230. Article number 109919. DOI: 10.1016/j.compag.2025.109919.
13. Alka T., Sreenivasan A., Suresh M. Seeds of change: mapping the landscape of precision farming technology adoption among agricultural entrepreneurs // Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 2024. Article number 101238. DOI: 10.1016/j.jssas.2024.09.001.
14. Jiaduo E., Kibria M. G., Aspy N. N., Ullah E., Hossain M. E. The impact of agricultural employment and technological innovation on the environment: evidence from BRICS nations considering a novel environmental sustainability indicator // Sustainability. 2023. Vol. 15. Article number 15083. DOI: 10.3390/su152015083.

15. Dutta T., Sharma N. R., Bohn R., et al. The parallels of food self-sufficiency and hunger in light of sustainable agriculture: a case of the BRICS countries // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 494. Article number 04043. DOI: 10.1051/e3sconf/202449404043.
16. Vorozheykina T. M., Osipov V. S., Krishtaleva T. I., et al. Smart agriculture as a component of modern economic and environmental systems // In: Popkova E. G., Sergi B. S. (eds.) Smart Innovation in Agriculture. Smart Innovation, Systems and Technologies. Singapore: Springer, 2022. Pp. 47–53. DOI: 10.1007/978-981-16-7633-8_6. DOI: 10.1007/s11356-024-33479-4.
17. Saba C. S., Djemo C. R. T., Ngepah N. The crucial roles of ICT, renewable energy sources, industrialization, and institutional quality in achieving environmental sustainability in BRICS // Environmental Science and Pollution Research. 2024. Vol. 31. Pp. 35083–35114. DOI: 10.1007/s11356-024-33479-4.
18. Shah M. I., Usman M., Obekp H. O., et al. Nexus between environmental vulnerability and agricultural productivity in BRICS: what are the roles of renewable energy, environmental policy stringency, and technology? // Environmental Science and Pollution Research. 2023. Vol. 30. Pp. 15756–15774. DOI: 10.1007/s11356-022-23179-2.
19. Wang M., Wang J., Chen L. Mapping paddy rice using weakly supervised long short-term memory network with time series sentinel optical and SAR images // Agriculture. 2020. Vol. 10, No. 10. Article number 483. DOI: 10.3390/agriculture10100483.
20. Zhu M., Liu S., Xia Z., et al. Crop growth stage GPP-driven spectral model for evaluation of cultivated land quality using GA-BPNN // Agriculture. 2020. Vol. 10, No. 8. Article number 318. DOI: 10.3390/agriculture10080318.
21. Li H., Li Z., Dong W., et al. An automatic approach for detecting seedlings per hill of machine-transplanted hybrid rice utilizing machine vision // Computers and Electronics in Agriculture. 2021. Vol. 185. Article number 106178. DOI: 10.1016/j.compag.2021.106178.
22. Jiang H., Zhang C., Qiao Y., et al. CNN feature based graph convolutional network for weed and crop recognition in smart farming // Computers and Electronics in Agriculture. 2020. Vol. 174. Article number 105450. DOI: 10.1016/j.compag.2020.105450.
23. Tang J., Wang D., Zhang Z., et al. Weed identification based on K-means feature learning combined with convolutional neural network // Computers and Electronics in Agriculture. 2017. Vol. 135. Pp. 63–70. DOI: 10.1016/j.compag.2017.01.001.
24. Chen H., Ding Y., Gu S., Geng C., Sheng W. Experiential investigation of cluster velocity and slip velocity in the CFB riser // Powder Technology. 2020. Vol. 370. DOI: 10.1016/j.powtec.2020.05.034.
25. Liu L.-W., Ma X., Wang Y.-M., et al. Using artificial intelligence algorithms to predict rice (*Oryza sativa* L.) growth rate for precision agriculture // Computers and Electronics in Agriculture. 2021. Vol. 187. Article number 106286. DOI: 10.1016/j.compag.2021.106286.
26. Mao J., Yu Y., Rao X., Wang J. Firmness prediction and modeling by optimizing acoustic device for watermelons // Journal of Food Engineering. 2016. Vol. 168. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2015.07.009.
27. Chatterjee M., Naka I. Twenty years of BRICS: political and economic transformations through the lens of land // Oxford Development Studies. 2022. Vol. 50, No. 1. Pp. 2–13. DOI: 10.1080/13600818.2022.2033191.
28. Mujumdar A., Shadrin A. Impact investment for BRICS cooperation on sustainable development // Asia-Pacific Social Science Review. 2021. Vol. 21, No. 4. Article number 26. DOI: 10.59588/2350-8329.1452.
29. Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН. Показатели ЦУР. 2022–2023 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fao.org/sdg-progress/en/> (дата обращения: 04.03.2025).
30. Статистические индикаторы мирового развития в открытых источниках World Bank Open Data [Электронный ресурс]. 2023. URL: <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators> (дата обращения: 06.03.2025).
31. Соловьев Д. С. Метод объективизации значений весовых коэффициентов для принятия решений в многокритериальных задачах // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2023. № 23 (1). С. 161–168. DOI: 10.17586/2226-1494-2023-23-1-161-168.
32. INSEAD & World Economic Forum. Network Readiness Index [Электронный ресурс]. URL: <https://networkreadinessindex.org/countries> (дата обращения: 09.12.2025).
33. Цифровые технологии в сельском хозяйстве [Электронный ресурс]. URL: <https://www.oecd.org/agriculture/topics/digital-agriculture> (дата обращения: 02.03.2025).

Об авторах:

Ольга Титовна Ергунова, кандидат экономических наук, доцент, доцент Высшей школы производственного менеджмента, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия; ORCID 0000-0002-1714-7784, AuthorID 768185. E-mail: ergunova_ot@spbstu.ru

Елена Григорьевна Киселева, кандидат экономических наук, доцент, доцент Высшей школы производственного менеджмента, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия; ORCID 0000-0002-6334-5562, AuthorID 471025. *E-mail: chachina_eg@spbstu.ru*

Андрей Геннадьевич Сомов, кандидат экономических наук, старший преподаватель Высшей школы производственного менеджмента, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия; ORCID 0009-0004-2592-9198, AuthorID 1199740. *E-mail: somov_ag@spbstu.ru*

References

1. Salnikova O. V., Rozhkova L. V. Application of innovative technologies in agriculture of BRICS countries. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Volga Region*. 2021; 1 (57): 115–126. DOI: 10.21685/2072-3016-2021-1-10. (In Russ.)
2. Skvortsov E. A., Skvortsova E. G., Sandu I. S., Iovlev G. A. Transition of Agriculture to Digital, Intellectual and Robotics Technologies. *Economy of Region*. 2018; 14 (3): 1014–1028. DOI: 10.17059/2018-3-23. (In Russ.)
3. Sokolov A., Shashnov S., Kotsemir M. From BRICS to BRICS plus: selecting promising areas of S&T co-operation with developing countries. *Scientometrics*. 2021; 126: 8815–8859. DOI: 10.1007/s11192-021-04142-3.
4. Zaporozhtseva L. A., Izmailov M. K., Arbenina E. A., Leonova N. V. Using digital tools and technologies to improve the efficiency of the subjects of agrarian sector of the Central Federal District of Russia. *Bulletin of the Voronezh State Agrarian University*. 2024; Vol. 17, 2(81): 168–175. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2024_2_168 (In Russ.)
5. Morozkina A. K., Skryabina V. Yu. BRICS and partnership for sustainable development: prospects for trade with least developed countries. *Bulletin of International Organizations: Education, Science, New Economy*. 2021; 16 (1): 85–106. DOI: 10.17323/1996-7845-2021-01-04. (In Russ.)
6. Ratner S. V., Sinelnikova A. V. Comparative analysis of biotechnology market development in the BRICS countries under the world economy decarbonization. *Economic Analysis: Theory and Practice*. 2022; 21 (7): 1265–1290. DOI: 10.24891/ea.21.7.1265. (In Russ.)
7. Shelamova N. A. Strategic directions for strengthening food security of BRICS countries at the present stage. *Economics of Agricultural and Processing Enterprises*. 2023; 9: 10–15. DOI: 10.31442/0235-2494-2023-0-9-10-15. (In Russ.)
8. Kubasova O. A., Lavrov L. A. Dynamics of the BRICS countries' contribution to global agricultural production. In: *Socio-economic geography: theory, methodology, and teaching practice: proceedings of the All-Russian scientific-practical conference with international participation*. Moscow, 2022. Pp. 91–98. (In Russ.)
9. Voronina N. P. Digital transformation of agriculture as a driver for the development of agricultural co-operation: legal support and strategic planning. *International Research Journal*. 2024; 4 (142). DOI: 10.23670/IRJ.2024.142.23. (In Russ.)
10. Nesterenko N. Yu. Opportunities and barriers to sustainable agricultural development of agriculture in the BRICS countries. *Agro-Industrial Complex: Economics, Management*. 2023; 12: 110–121. DOI: 10.33305/2312-110. (In Russ.)
11. Lavrentyev V. A., Lavrentyeva L. V., Sakhedova Ch. A. BRICS countries and their impact on the global economy in the context of the geopolitical crisis. *Innovative Economy: Development Prospects and Improvement* [Internet]. 2022 [cited 2025 Sep 20]; 6 (64): 51–57. Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/strany-briks-i-ih-vliyanie-na-mirovuyu-ekonomiku-v-usloviyah-geopoliticheskogo-krizisa>. (In Russ.)
12. Pallottino F., Violino S., Figorilli S., et al. Applications and perspectives of generative artificial intelligence in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2025; 230: 109919. DOI: 10.1016/j.compag.2025.109919.
13. Alka T., Sreenivasan A., Suresh M. Seeds of change: mapping the landscape of precision-farming technology adoption among agricultural entrepreneurs. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 2024; 101238. DOI: 10.1016/j.jssas.2024.09.001.
14. Jiaduo E., Kibria M. G., Aspy N. N., Ullah E., Hossain M. E. The impact of agricultural employment and technological innovation on the environment: evidence from BRICS nations considering a novel environmental sustainability indicator. *Sustainability*. 2023; 15: 15083 DOI: 10.3390/su152015083.
15. Dutta T., Sharma N. R., Bohn R., et al. The parallels of food self-sufficiency and hunger in light of sustainable agriculture: a case of the BRICS countries. *E3S Web of Conferences*. 2024; 494: 04043. DOI: 10.1051/e3sconf/202449404043.
16. Vorozheykina T. M., Osipov V. S., Krishtaleva T. I., et al. Smart agriculture as a component of modern economic and environmental systems. In: Popkova E. G., Sergi B. S. (eds.) *Smart Innovation in Agriculture. Smart Innovation, Systems and Technologies*. Vol. 264. Singapore: Springer, 2022. Pp. 47–53. DOI: 10.1007/978-981-16-7633-8_6.

17. Saba C. S., Djemo C. R. T., Ngepah N. The crucial roles of ICT, renewable energy sources, industrialization and institutional quality in achieving environmental sustainability in BRICS. *Environmental Science and Pollution Research*. 2024; 31: 35083–35114. DOI: 10.1007/s11356-024-33479-4.
18. Shah M. I., Usman M., Obekp H. O., et al. Nexus between environmental vulnerability and agricultural productivity in BRICS: what are the roles of renewable energy, environmental policy stringency, and technology? *Environmental Science and Pollution Research*. 2023; 30: 15756–15774. DOI: 10.1007/s11356-022-23179-2.
19. Wang M., Wang J., Chen L. Mapping paddy rice using a weakly supervised long short-term memory network with time series Sentinel optical and SAR images. *Agriculture*. 2020; 10 (10): 483. DOI: 10.3390/agriculture10100483.
20. Zhu M., Liu S., Xia Z., et al. Crop growth stage GPP-driven spectral model for evaluation of cultivated-land quality using GA-BPNN. *Agriculture*. 2020; 10 (8): 318. DOI: 10.3390/agriculture10080318.
21. Li H., Li Z., Dong W., et al. An automatic approach for detecting seedlings per hill of machine-transplanted hybrid rice utilizing machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021; 185: 106178. DOI: 10.1016/j.compag.2021.106178.
22. Jiang H., Zhang C., Qiao Y., Zhang Z., Zhang W., Song C. CNN feature-based graph convolutional network for weed and crop recognition in smart farming. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020; 174: 105450. DOI: 10.1016/j.compag.2020.105450.
23. Tang J., Wang D., Zhang Z., et al. Weed identification based on K-means feature learning combined with a convolutional neural network. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2017; 135: 63–70. DOI: 10.1016/j.compag.2017.01.001.
24. Chen H., Ding Y., Gu S., Geng C., Sheng W. Experiential investigation of cluster velocity and slip velocity in the CFB riser. *Powder Technology*. 2020; 370. DOI: 10.1016/j.powtec.2020.05.034.
25. Liu L.-W., Ma X., Wang Y.-M., et al. Using artificial-intelligence algorithms to predict rice (*Oryza sativa* L.) growth rate for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021; 187: 106286. DOI: 10.1016/j.compag.2021.106286.
26. Mao J., Yu Y., Rao X., Wang J. Firmness prediction and modeling by optimizing an acoustic device for watermelons. *Journal of Food Engineering*. 2016; 168. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2015.07.009.
27. Chatterjee M., Naka I. Twenty years of BRICS: political and economic transformations through the lens of land. *Oxford Development Studies*. 2022; 50 (1): 2–13. DOI: 10.1080/13600818.2022.2033191.
28. Mujumdar A., Shadrin A. Impact investment for BRICS cooperation on sustainable development. *Asia-Pacific Social Science Review*. 2021; 21 (4): 26. DOI: 10.59588/2350-8329.1452.
29. Food and agriculture organization of the United Nations. *SDG Indicators* [Internet]. 2022–2023 [cited 2025 Sep 04]. Available from: <https://www.fao.org/sdg-progress/en>.
30. World Bank. *World Development Indicators* [Internet]. 2023 [cited 2025 Mar 06]. Available from: <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>.
31. Solovyev D. S. The objectification method of the weight coefficients for decision-making in multicriteria problems. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2023; 23 (1): 161–168. DOI: 10.17586/2226-1494-2023-23-1-161-168. (In Russ.)
32. INSEAD and World Economic Forum. *Network Readiness Index* [Internet]. 2023 [cited 2025 Oct 09]. Available from: <https://networkreadinessindex.org/countries>.
33. Organisation for economic co-operation and development. *Digital technologies in agriculture* [Internet]. 2022 [cited 2025 Mar 02]. Available from: <https://www.oecd.org/agriculture/topics/digital-agriculture>.

Authors' information:

Olga T. Ergunova, candidate of economic sciences, associate professor at the Graduate School of Industrial Management, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia; ORCID 0000-0002-1714-7784, AuthorID 768185. E-mail: ergunova_ot@spbstu.ru

Elena G. Kiseleva, candidate of economic sciences, associate professor at the Graduate School of Industrial Management, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia; ORCID 0000-0002-6334-5562, AuthorID 471025. E-mail: chachina_eg@spbstu.ru

Andrey G. Somov, candidate of economic sciences, senior lecturer at the Graduate School of Industrial Management, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia; ORCID 0009-0004-2592-9198, AuthorID 1199740. E-mail: somov_ag@spbstu.ru