

Иновационные технологии

УДК 004.89

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

В. А. Журавлёв, кандидат сельскохозяйственных наук

*Белорусская государственная академия связи,
г. Минск, Беларусь*

Аннотация

Рассматривается практика применения искусственного интеллекта (ИИ) как основополагающего элемента парадигмы умного сельского хозяйства. Изучение опыта его внедрения в сельское хозяйство разных стран позволяет выявить преимущества ИИ, определить как факторы, сдерживающие его развитие в сельском хозяйстве, так и наиболее эффективные пути его дальнейшего развития. Применение ИИ в сельском хозяйстве подразумевает интеграцию инновационных решений, включая машинное обучение, компьютерное зрение, робототехнику и «Интернет-вещей» (IoT) с целью модернизации сельскохозяйственных работ, что поможет аграриям аккумулировать и обрабатывать информацию, автоматизировать рутинные операции и принимать взвешенные решения. В статье также обобщен мировой опыт применения инновационных методов и технологий с использованием ИИ в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: искусственный интеллект, точное земледелие, технологии, машинное обучение, программное обеспечение, аппаратное обеспечение.

Abstract

V. A. Zhuravlev

PROSPECTS FOR THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN AGRICULTURE

This article examines the practice of using artificial intelligence (AI) as a fundamental element of the smart agriculture paradigm. Studying the experience of implementing AI in agriculture in different countries allows us to identify the advantages of AI, identify the factors constraining the development of AI in agriculture and the most effective ways of its further development. The use of AI in agriculture involves the integration of innovative solutions, including machine learning, computer vision, robotics and the Internet of Things (IoT), in order to modernize agricultural work. These tools allow farmers to accumulate and process information, automate routine operations and make reasonable decisions, which in turn helps to increase productivity and optimize the use of resources. This article summarizes the global experience of applying innovative methods and technologies using AI in agriculture.

Keywords: intelligence, precision farming, technology, machine learning, software, hardware.

Введение

Цель данной статьи – рассмотреть и обобщить мировой опыт применения в сельском хозяйстве инновационных методов и технологий с использованием ИИ; выявить как его преимущества для данной сферы, так и факторы, сдерживающие его развитие.

Сельское хозяйство является одной из ключевых отраслей мировой экономики, обеспечивая продовольственную безопасность и сырье для множества отраслей промышленности любой страны. Однако перед аграрным сектором встают новые вызовы в связи с ростом

численности населения, изменением климата, ограниченностью ресурсов и необходимостью повышения эффективности производства. В этих условиях искусственный интеллект становится важным инструментом для трансформации сельского хозяйства, способствуя решению сложных задач агропромышленного комплекса и повышению его устойчивости.

Искусственный интеллект – это технология, которая дает возможность машинам обучаться на основе данных, анализировать информацию и принимать решения с минимальным

вмешательством человека, что позволяет сельскохозяйственным предприятиям принимать своевременные обоснованные решения, снижая неопределенность производственных ситуаций и улучшая управление хозяйством [1].

В Беларуси широкое использование технологий ИИ (в том числе в агропромышленном комплексе и пищевой промышленности) регламентировано Указом Президента Республики Беларусь «О приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2026–2030 годы» от 01.04.2025 № 135 как одно из первоочередных приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности на указанный период.

Данная сфера деятельности обеспечит технологический суверенитет страны, консолидацию научного, образовательного и производственного потенциала, концентрацию

Основная часть

Обзор литературы позволяет выделить следующие ключевые направления и перспективы применения ИИ в сельском хозяйстве [4–7].

Точное земледелие. Здесь с помощью ИИ, на основе анализа данных о состоянии почвы, погодных условиях и потребностях растений, оптимизируется использование воды, удобрений и семян, что способствует повышению урожайности и снижению затрат, планированию рисков и управлению ими, обеспечивает устойчивость сельхозпредприятия в ситуации климатических изменений.

Алгоритмы машинного обучения помогают прогнозировать урожайность, определять оптимальные сроки посадки и сбора урожая.

Мониторинг и анализ состояния культур. С помощью компьютерного зрения и дронов ИИ может отслеживать состояние растений, выявлять болезни, вредителей и недостаток питательных веществ на ранних стадиях, давать рекомендации для предотвращения негативных явлений, что содействует принятию своевременных мер по их минимизации.

Прогнозирование урожая. ИИ анализирует архивные данные, погодные условия и другие факторы в целях прогноза урожайности и помощи фермерам в планировании их действий. ИИ используют для оценки влияния климатических изменений на сельское хозяйство, разработки адаптивных стратегий, а также для

материальных и интеллектуальных ресурсов для реализации наиболее значимых направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности. Применение ИИ в сельском хозяйстве позволит разработать и внедрить инновационные методы, модели и технологии, которые могут решать сложные задачи, недоступные ранее для традиционных подходов. Оптимизируя каждый аспект процесса ведения сельского хозяйства, ИИ обеспечивает рациональное использование ресурсов (воды, удобрений и пестицидов), сводит к минимуму потери, что приводит к повышению общей производительности [2]. Анализ статистических данных показывает, что благодаря внедрению искусственного интеллекта можно повысить продуктивность животноводческих хозяйств и улучшить показатели урожайности в агропромышленном комплексе как минимум на 3–5 % [3].

помощи сельхозпроизводителям при определении срока сбора урожая и др.

Автоматизация сельскохозяйственной техники. Самоуправляемые тракторы, комбайны и другие машины, оснащенные ИИ, занимаются прополкой, сбором урожая и обработкой растений; они способны выполнять задачи с высокой точностью, снижая нагрузку на человека и повышая производительность труда.

Управление водными ресурсами. ИИ помогает оптимизировать полив, анализируя данные о влажности почвы и прогнозах погоды, что может сократить расход воды и повысить эффективность ее использования.

Селекция и генетика. ИИ ускоряет процесс выведения новых сортов растений и пород животных, анализируя большие объемы генетических данных. Алгоритмы способствуют прогнозу, какие генетические комбинации дадут наилучший результат.

Оптимизация логистики и цепочек поставок. ИИ помогает оптимизировать хранение, транспортировку и распределение сельскохозяйственной продукции, сокращая потери и улучшая качество продукции.

По данным направлениям в разных странах проводятся многочисленные научные исследования. В табл. 1, составленной автором, приведены данные о наиболее значимых из них.

Таблица 1. Исследования в области ИИ

Центры и лаборатории при университетах	Научная организация	Направления исследований	Достижения
<i>Cambridge Crop Science Centre</i> ¹	Кембриджский университет (Великобритания)	Использование ИИ для анализа спутниковых данных и прогнозирования урожайности	Разработка алгоритмов для обработки больших объемов данных в сельском хозяйстве
<i>Center for Field Robotics of the Institute of Robotics</i> ²	Университет Карнеги – Меллон (США)	Робототехника ИИ для сельского хозяйства	Разработка автономных роботов для мониторинга полей и сбора данных
Центр цифровой инженерии, Центр искусственного интеллекта ³	Сколковский институт науки и технологий (Россия)	Применение ИИ для анализа данных в сельском хозяйстве	Разработка моделей машинного обучения для прогнозирования урожайности и оптимизации использования ресурсов
<i>Lincoln Institute for Agri-Food Technology (LIAT)</i> ⁴	Университет Линкольна (Великобритания)	Использование дронов и ИИ для мониторинга состояния посевов	Разработка систем для анализа данных, собранных с помощью дронов
<i>Soil Research Centre</i> ⁵	Университет Рединга (Великобритания)	Применение ИИ для анализа данных о почве и растениях	Разработка моделей для прогнозирования урожайности и управления ресурсами
<i>Water and Food Systems Lab (J-WAFS, MIT)</i> ⁶	Массачусетский технологический институт (Кембридж, США)	Использование ИИ для оптимизации сельскохозяйственных процессов	Разработка алгоритмов для анализа данных и принятия решений в реальном времени
<i>AI Institute for Future Agricultural Resilience</i> ⁷	Вагенингенский университет (Нидерланды)	Применение ИИ для анализа данных о погоде, о почве и растениях	Разработка систем для прогнозирования урожайности и управления рисками, а также моделей для оптимизации использования удобрений и воды

¹ The Crop Science Centre // University of Cambridge. URL: <https://www.cropsciencecentre.org/>; <https://www.cam.ac.uk/> (date of access: 24.05.2025).

² Center for Field Robotics of the Institute of Robotics // School of Computer Science (SCS) of Carnegie Mellon University // Carnegie Mellon University. URL: <https://www.cmu.edu/> (date of access: 21.01.2025).

³ Проектный центра агротехнологий // Сколковский институт науки и технологий. URL: <https://www.skoltech.ru/> (дата обращения: 29.03.2025).

⁴ The Lincoln Institute for Agri-Food Technology. URL: <https://www.lincoln.ac.uk/liat/> (date of access: 24.05.2025).

⁵ Soil Research Centre. Soil & Environment // The University of Reading. URL: <https://www.reading.ac.uk/soil-research-centre/research/soil-environment> (date of access: 21.01.2025).

⁶ The Artificial Intelligence for Future Agricultural Resilience, Management, and Sustainability (AIFARMS) Institute // Latif Jameel Water & Food Systems Lab of Massachusetts Institute of Technology. URL: <https://aifarms.illinois.edu/about-us/> (date of access: 24.05.2025).

⁷ AI for Sustainable Food Systems // Wageningen University & Research. URL: <https://www.wur.nl/en/education-programmes/education-for-professionals/professional-education.htm> (date of access: 19.03.2022).

<i>Berkeley Food & Manufacturing Institute; Lawrence Berkeley National Lab, CEGA (UC Berkeley)</i> ¹	Университет Калифорнии, Беркли (США)	Применение ИИ для анализа данных по сельскому хозяйству	Разработка алгоритмов для анализа больших объемов данных и принятия решений; спутниковое картирование урожайности и обучение по ML-оценке продуктивности полей
<i>Computational Robotics & AI. Kavraki Lab</i> ²	Университет Райса (США)	Робототехника и ИИ для сельского хозяйства	Разработка автономных систем для мониторинга и управления сельскохозяйственными процессами
<i>Department of Biological and Agricultural Engineering</i> ³	Калифорнийский университет Дэвис, Калифорния (США)	Использование ИИ для автоматизации сельского хозяйства, робототехника, точное земледелие	Разработка алгоритмов для управления роботами и анализа данных. Роботизированные автоматизированные платформы для сбора урожая. Разработка роботизированных систем для сбора урожая и мониторинга состояния растений
<i>ResearchGATE. Stanford Earth/GSB</i> ⁴	Стэнфордский университет (США)	Создание и использование уникальных наборов данных для изучения сельских районов по всему миру.	Методы для измерения прогресса в достижении целей устойчивого развития и изучения воздействия климатически оптимизированных методов в сельском хозяйстве
<i>Researchs in Agricultural & Food Engineering</i> ⁵	Индийский технологический институт (Индия)	Применение ИИ для анализа данных в сельском хозяйстве	Разработка моделей для прогнозирования урожайности и управления ресурсами. Робот способный выявлять заболевания растений и применять пестициды на фермах

Таблица составлено автором.

¹ Berkeley Food & Manufacturing Institute. URL: <https://www.berkeley.edu/> (date of access: 17.04.2024).

² Department of Computer Science. Computational Robotics & AI. Kavraki Lab // Rice University. URL: <https://www.kavrakilab.org/index.html>; <https://robotics.rice.edu> (date of access: 10.01.2025).

³ Robotic Harvesting. Department of Biological and Agricultural Engineering // UC Davis. URL: <https://faculty.engineering.ucdavis.edu/vougioukas/research/> (date of access: 12.07.2024).

⁴ ResearchGATE. Environmental Research Letters. URL: https://web.stanford.edu/~mburke/papers/Chap8_adaptation.pdf; <https://www.researchgate.net/journal/Environmental-Research-Letters-1748-9326> (date of access: 14.03.2025).

⁵ Research and Industrial Consultancy // IITKGP. Indian Institute of Technology Kharagpur. URL: <https://erp.iitkgp.ac.in/SricWeb/temporaryJobs.htm> (date of access: 12.01.2025).

В ходе работы над статьей изучались научные публикации путем сопоставительного анализа, контент-анализа, синтеза, системного анализа и др. Так, были обобщены работы отечественных и зарубежных авторов, а также статистические данные и аналитические обзоры по вопросам применения и внедрения искусственного интеллекта в сельском хозяйстве разных странах мира. Сопоставление позиций различных государств в международных рейтингах, касающихся развития искусственного интеллекта, позволило определить лидеров в этой области.

В 2024 г. мировой рынок ИИ в сельском хозяйстве достиг 2,14 млрд долларов США. Как показывают прогнозы, к 2035 г. рынок достигнет 20,96 млрд долларов США, а среднегодовой темп роста составит 23,06 % в течение 2024–2035 гг. [8, 9]. Рынок демонстрирует стабильный рост, обусловленный, во-первых, растущей потребностью в технологиях точного земледелия для повышения урожайности, оптимизации использования ресурсов и снижения воздействия на окружающую среду и, во-вторых, растущим распространением устройств и датчиков, «Интернета вещей» (далее – IoT) для ведения сельского хозяйства на основе данных, а также спросом на передовые алгоритмы искусственного интеллекта и модели машинного обучения для анализа обширных сельскохозяйственных данных [9]. ИИ становится ключевым драйвером изменений: в частности, более половины мировых компаний, а именно 58 % рассматривают возможности интеграции ИИ для осуществления преобразований в своей деятельности [10]. Охват ИИ в сельском хозяйстве мира пока невелик (около 12 %), но эта технология быстро развивается и уже демонстрирует значительный потенциал для трансформации аграрного сектора [3].

ИИ в сельском хозяйстве может помочь фермерам более эффективно использовать их ресурсы; его можно применять в таких сферах, как составление карт посевов, отслеживание сельскохозяйственного производства, управление ирригацией, картографирование сельскохозяйственных культур, мониторинг урожая, анализ почвы, прогнозная аналитика и автономная техника, борьба с вредителями, управление тепличным хозяйством и забота о здоровье животных. Кроме того, молочные фермы теперь могут индивидуально отслеживать все особенности поведения крупного

рогатого скота в стаде благодаря внедрению таких передовых технологий, как распознавание облика животных, классификация изображений, оценка состояния тела животных и структуры их потребления [1, 4, 6, 7, 11].

Основные цели применения ИИ в сельском хозяйстве:

- максимизация урожайности сельскохозяйственных культур;
- снижение затрат и минимизация воздействия на окружающую среду;
- снижение экологического воздействия сельского хозяйства;
- своевременное обнаружение и предотвращение потерь урожая;
- снижение зависимости от ручного труда и повышение эффективности;
- минимизация потерь из-за погодных условий, болезней и других факторов;
- повышение качества сельскохозяйственной продукции;
- создание единой цифровой экосистемы для сельского хозяйства;
- снижение уязвимости сельского хозяйства к климатическим изменениям;
- повышение уровня жизни в сельских регионах за счет внедрения современных технологий.

Эти цели тесно связаны с важными научными и практическими направлениями, такими как точное земледелие, устойчивое развитие, автоматизация и адаптация к изменению климата.

Традиционные методы ведения сельского хозяйства часто основываются на интуитивном принятии решений и использовании ручного труда, что отнимает немало времени и нередко приводит к ошибкам. Интеграция передовых возможностей ИИ, такие как алгоритмы машинного обучения, компьютерное зрение и анализ данных с традиционными методами ведения сельского хозяйства, позволяет фермерам принимать более обоснованные решения о посадке и поливе растений, сборе урожая, помогает отслеживать и снижать негативное воздействие сельского хозяйства на окружающую среду за счет оптимизации использования ресурсов. Например, системы на базе ИИ могут анализировать состояние почвы, погодные условия и состояние растений, совершенствуя график полива и сокращая расход воды/пестицидов, сводя к минимуму потери и вред для окружающей среды. Кроме того, ИИ может помочь в

севообороте и управлении здоровьем почвы, что важно для долгосрочной устойчивости. ИИ становится не только сельскохозяйственным инструментом, но и средством борьбы с изменением климата, так как благодаря его применению можно сокращать выбросы углекислого газа и внедрять экологичные методы, что делает сельское хозяйство более устойчивым и прибыльным в долгосрочной перспективе [11–13].

Нехватка рабочей силы в сельском хозяйстве – глобальная проблема, и во многих регионах возникают трудности с обеспечением стабильного и квалифицированного персонала для сельскохозяйственных работ. ИИ и автоматизация приходят на помощь и предлагают решение этой проблемы, снижая зависимость от ручного труда. Например, роботы могут выполнять такие трудоемкие и зачастую трудновыполнимые задачи, как прополка, сбор урожая и др. Кроме того, системы искусственного интеллекта могут контролировать и управлять большими площадями сельскохозяйственных угодий, снижая потребность в большом количестве трудовых ресурсов на местах. Такая автоматизация не только решает проблему нехватки рабочей силы, но и способствует снижению затрат. Автоматизируя рутинные задачи, сельскохозяйственные организации могут сократить операционные расходы и сосредоточить свои ресурсы на стратегических аспектах управления хозяйством [3, 7].

Назовем ведущие ключевые компании, работающие с ИИ в сельском хозяйстве, занимающиеся разработкой и внедрением технологий, помогающих повысить эффективность, урожайность и устойчивость сельскохозяйственного производства [9, 14]:

Американская *IBM Corporation* использует ИИ в области больших данных, облачных вычислений и «Интернета вещей»;

американская компания *Corteva Agriscience* специализируется на предоставлении программного обеспечения и аналитических решений для сельского хозяйства с использованием ИИ;

американская компания *AgEagle Aerial Systems Inc* сфокусирована на разработке и производстве беспилотных летательных аппаратов и решений для точного земледелия;

немецкая фирма *Bayer* – на цифровых решениях для сельского хозяйства с акцентом на точном земледелии и использовании данных;

американская технологическая компания *Descartes Labs, Inc* – на анализе данных с применением ИИ, машинного обучения и спутниковых снимков;

израильские компании *Greeneye Technology* и *Sensilize* – на разработке технологий для точного земледелия с использованием ИИ, компьютерного зрения и анализа данных;

швейцарская компания *GAMAYA* – на предоставлении решений для точного земледелия на основе передовых технологий, таких как гиперспектральная съемка, ИИ и анализ больших данных;

американская компания *aWhere Inc* – на предоставлении решений для сельского хозяйства на основе анализа данных, метеорологии и ИИ;

израильская компания *Taranis* – на предоставлении решений для точного земледелия с использованием ИИ, компьютерного зрения, дронов и спутниковых снимков;

испанская компания *Ec2ce* – на разработке решений для сельского хозяйства с применением ИИ, больших данных и облачных технологий;

американская компания *Precision Hawk* предоставляет решения для сельского хозяйства с использованием беспилотных летательных аппаратов и технологий анализа данных;

американская компания *John Deere* специализируется на производстве сельскохозяйственной техники, использует ИИ для создания умных сельскохозяйственных машин;

американская компания *Microsoft* – эксперт в области ИИ, облачных вычислений, больших данных и IoT, разрабатывает решения для анализа данных в сельском хозяйстве;

американская компания *Blue River Technology* занимается разработкой робототехники и технологией машинного зрения для сельского хозяйства, создает роботы для точного внесения удобрений и борьбы с сорняками;

канадская компания *VineView* предоставляет решения для виноградарства и сельского хозяйства с использованием технологий дистанционного зондирования, дронов и анализа данных;

американская компания *Tule Technologies Inc* специализируется на предоставлении решений для управления водными ресурсами в сельском хозяйстве.

Сегментация ИИ по способам его применения в сельском хозяйстве, а также возможные

результаты и перспективы дальнейшего использования представлены в табл. 2.

Росту сельского хозяйства способствуют такие тенденции, как применение ИИ для анализа данных в сельском хозяйстве, автоматизация с помощью ИИ, развитие «Интернета вещей» и датчиков, мониторинг урожая с помощью ИИ и разработка интеллектуальных систем орошения [9, 13].

Наиболее значимые актуальные разработки технологий с использованием ИИ представлены в табл. 3.

Высокое качество организации производства в сельскохозяйственном предприятии, стремящемся к эффективному применению технологий ИИ, обусловлено комплексным подходом к управлению всеми базовыми ресурсами аграрного производства. Это подразумевает не просто внедрение отдельных ИИ-решений, а создание интегрированной системы, где каждый элемент производства сбалансирован для работы в связке с интеллектуальными технологиями. Для эффективного использования ИИ предприятие должно достичь соответствующего уровня ресурсообеспеченности аграрного производства, гарантированно осуществляя точный учет, прогнозирование и оптимизацию.

К базовым ресурсам аграрного производства относятся:

анализ и оптимизация использования топливно-энергетических ресурсов. ИИ может прогнозировать их потребности, анализировать расход, оптимизировать маршруты сельскохозяйственной техники и управления энергопотреблением оборудования, что сократит затраты и негативное воздействие на окружающую среду. Алгоритмы машинного обучения помогают снизить затраты за счет автоматизированного управления техникой с учетом топливной эффективности, прогнозирования оптимального времени проведения полевых работ, интеллектуального контроля систем орошения и освещения. Система интеллектуального мониторинга топлива на основе IoT-датчиков и ИИ анализирует расход горюче-смазочных средств по типам техники, маршрутам и операциям. Например, компания *John Deere* использует ИИ для расчета оптимальных скоростей движения тракторов, что снижает расход топлива на 10–15 %. Про-

гнозирование энергопотребления в теплицах с помощью ИИ в проектах *Microsoft FarmBeats* позволяет автоматически регулировать освещение и отопление, сводя к минимуму затраты на электроэнергию;

рациональное использование удобрений и средств химизации. ИИ может анализировать данные о состоянии почвы, погодных условиях и потребностях растений, определяя оптимальное количество и состав удобрений/пестицидов. Вследствие получения таких данных можно избежать избыточного применения химикатов, минимизировать химическую нагрузку на почву, повысить урожайность и улучшить качество продукции за счет адресного внесения агрохимикатов, уменьшая расходы на дорогостоящие препараты. Автоматизированные системы типа *Agroptima* (Испания) анализируют данные спутников, дронов и почвенных сенсоров, рассчитывая оптимальные дозы удобрений для каждого участка поля (сокращение затрат на агрохимикаты составляет 20–30 %). Роботизированные опрыскиватели (например, *Blue River Technology*, купленная *John Deere*) с компьютерным зрением распознают и идентифицируют сорняки, болезни и вредителей, точно вносят гербициды, уменьшая химическую нагрузку на почву. С помощью дронов с ИИ возможно сократить применение пестицидов на полях, направляя их только на проблемные участки и тем самым обеспечивая их более точное и эффективное распыление;

корма и уход за животными. ИИ может анализировать состав кормов, потребности животных и динамику их роста, условия содержания, вследствие чего можно оптимизировать рацион, улучшить здоровье и продуктивность скота. Автоматизированные системы кормления и мониторинга здоровья животных позволяют сократить перерасход кормов, повысить продуктивность поголовья, предотвращать заболевания на ранних стадиях. ИИ-платформы типа *Connecterra* (Нидерланды) анализируют данные с датчиков на коровах, прогнозируя их потребность в корме и оптимальный рацион. Это повышает надои на 5–10 %. Автоматизированные кормораздатчики (например, *Lely Vector*) используют машинное обучение для дозирования кормов с учетом продуктивности каждой особи;

Таблица 2. Сегменты искусственного интеллекта и его применение в сельском хозяйстве

Тип	Сегменты ИИ	Применение ИИ	Инструментарий	Результат	Перспективы использования
Компонента (интерфейс, через который взаимодействуют с пользователями/или другими системами)	Программное обеспечение	Управление хозяйством на основе ИИ, программы и инструменты для анализа данных и систем поддержки принятия решений на основе ИИ среди сельскохозяйственных предприятий для решения конкретных сельскохозяйственных задач	Мониторинг урожая, прогнозирование урожайности, обнаружение вредителей, управление орошением, совершенствование процессов принятия решений	Позволяет вести сельское хозяйство с высокой точностью на основе данных мониторинга. Благодаря интеграции алгоритмов ИИ можно принимать обоснованные решения, улучшить работу хозяйств, оптимизировать использование ресурсов и повышать урожайность, сводя к минимуму воздействие на окружающую среду	Сегмент программного обеспечения занимает наибольшую долю на рынке ИИ в сельском хозяйстве благодаря повышению его доступности. Ожидается, что здесь будет наблюдаться устойчивый рост, поскольку поставщики технологий продолжают разрабатывать передовые программные решения, отвечающие меняющимся потребностям сельскохозяйственного сектора
	Аппаратное обеспечение	Физические устройства и компоненты, связанные с ИИ	Датчики, дроны, автономная техника, аппаратные ускорители для ИИ	Сбор данных в режиме реального времени, автоматизация различных сельскохозяйственных задач	Внедрение методов точного земледелия привело к росту спроса на аппаратные решения. По мере развития технологий возможности аппаратного обеспечения продолжают расширяться, и сегмент аппаратного обеспечения на рынке ИИ в сельском хозяйстве ожидает значительный рост
	Услуги (консалтинговые, внедренческие, обучающие, вспомогательные)	Облачные платформы и сервисы	Позволяет хозяйствам и организациям получать доступ к инструментам ИИ, моделям машинного обучения и аналитике данных по подписке или за плату за использование	Снижаются входные барьеры для внедрения ИИ в сельском хозяйстве, особенно для небольших хозяйств и предприятий с ограниченной ИТ-инфраструктурой. ИИ как услуга обеспечивает масштабируемость и гибкость, позволяя пользователям опираться на возможности ИИ без значительных первоначальных вложений в программное или аппаратное обеспечение	Этот сегмент становится все более популярным благодаря удобству и экономичности. Ожидается рост спроса на специализированные услуги, которые будут приносить дополнительную пользу клиентам, стремящимся максимально эффективно использовать технологии ИИ в сельском хозяйстве

Продолжение табл. 2

				Облачные сервисы расширяют возможности ИИ в сельском хозяйстве за счет интеграции различных источников данных (спутниковые снимки и датчики «Интернета вещей»). Эти платформы поддерживают расширенную аналитику для принятия решений в режиме реального времени; помогают оценить конкретные потребности; обеспечивают плавный переход к методам, основанным на ИИ; необходимы для устранения неполадок и оптимизации систем ИИ		Позволяют с.-х. организациям использовать данные из различных источников (включая датчики, спутники и дроны) для принятия обоснованных решений о посадке, орошении, борьбе с вредителями и состоянии урожая. Модели машинного обучения помогают оптимизировать распределение ресурсов, прогнозировать урожайность и даже выявлять ранние признаки болезней или дефицита питательных веществ в с.-х. культурах.	По мере развития технологий применение компьютерного зрения в сельском хозяйстве становится все более сложным и точным
Технологии	Компьютерное зрение	Использование алгоритмов и моделей ИИ для извлечения значимой информации и интерпретации визуального контента	Камеры и датчики		Анализ данных, распознавание образов, принятие решений	Позволяют с.-х. организациям использовать данные из различных источников (включая датчики, спутники и дроны) для принятия обоснованных решений о посадке, орошении, борьбе с вредителями и состоянии урожая. Модели машинного обучения помогают оптимизировать распределение ресурсов, прогнозировать урожайность и даже выявлять ранние признаки болезней или дефицита питательных веществ в с.-х. культурах.	Машинное обучение занимает самую большую долю в отрасли. Масштабируемость и универсальность машинного обучения делают его базовой технологией, лежащей в основе точного земледелия и устойчивых методов ведения сельского хозяйства
	Машинное обучение	Алгоритмы и модели, позволяющие машинам обучаться и делать прогнозы или предпринимать действия без явного программирования			Анализ отчетов, архивных записей	Взаимодействие работников с виртуальными помощниками и между собой с помощью чат-ботов	Сегмент находится в состоянии постоянного развития
	Обработка естественного языка	Нейронные технологии, которые понимают и обрабатывают человеческую речь					

Продолжение табл. 2

	Предиктивная аналитика	Использование архивных данных и данных в реальном времени. Предполагается применение статистических алгоритмов и методов машинного обучения для выявления в данных закономерностей, взаимосвязей и тенденций	Прогнозирование тенденций и результатов в сельском хозяйстве	Предиктивные модели помогают сельскохозйственным организациям принимать упреждающие решения, связанные с погодой, борьбой с вредителями и уходом за посевами; оптимизировать график посадки и прогнозировать урожайность, потенциальные болезни растений или колебания урожайности; выявляет риски, связанные с вредителями и болезнями, что способствует своевременному принятию мер	Этот сегмент способствует снижению рисков и эффективному распределению ресурсов в сельском хозяйстве, что делает его важным инструментом для фермеров, стремящихся максимизировать урожайность и прибыль
Приложения (системы, способные воспринимать окружающую среду, принимать решения и действовать автономно для достижения конкретных целей)	Сельскохозйственные роботы	Автоматизация различных сельскохозйственных задач с использованием алгоритмов ИИ и машинного обучения	Посадка, сбор урожая, прополка, опрыскивание, мониторинг. Роботизированная система предназначена для выполнения ряда задач автономно или с минимальным вмешательством человека	Особенно полезны при нехватке рабочей силы и для повышения производительности в сельскохозйственном секторе; благодаря им повышается эффективность и сокращаются трудозатраты	Сельскохозйственные роботы продолжают развиваться, предлагая новые возможности для повышения точности и автоматизации сельскохозйственных работ
	Мониторинг сельскохозйственных культур и почвы	Сбор данных о состоянии урожая, почвы, вредителях и погоды с использованием аналитики на основе ИИ	Беспилотные летательные аппараты, оснащенные датчиками, камерами	Данные предоставляются фермерам, что позволяет быстро и эффективно принимать решения. В результате – рост урожайности на 5–10 %, сокращение затрат на удобрения на 10–12 %	Наиболее эффективен для крупных хозяйств и хозяйств со сложным рельефом
	Интеллектуальное распыление средств химизации	Компьютерное зрение и алгоритмы искусственного интеллекта	Камеры и датчики для обнаружения и идентификации сорных растений, вредителей и болезней	Позволяет точно наносить химикаты только там, где это необходимо, тем самым повышается эффективность внесения химикатов. Можно сократить использование химикатов на 80%, а расходы на гербициды снизить на 90%	Новый сегмент, который должен развиваться, предлагая новые возможности для повышения точности внесения химикатов

Окончание табл. 2

Мониторинг состояния здоровья домашнего скота	Мониторинг домашнего скота с использованием ИИ для улучшения управления сельскохозяйственных животных	Датчики, носимые устройства, аналитика данных	Мониторинг здоровья, поведения и продуктивности домашнего скота обеспечивает надлежащий уход за животными, что повышает продуктивность животноводства, способствует профилактике заболеваний и общему благополучию животных	Прогнозируется, что рынок мониторинга скота будет переживать устойчивый рост
Точное земледелие (прецизионное сельское хозяйство)	Оптимизация методов выращивания сельскохозяйственных культур с использованием технологий на основе ИИ, GPS, дистанционного зондирования и анализа данных	Точный мониторинг состояния почвы, погодных условий, здоровья сельскохозяйственных культур	Позволяет сельскохозяйственным организациям принимать решения на основе данных об орошении, удобрении и борьбе с вредителями. Согласно отчету <i>Precision Agriculture Development Trust</i> , точное земледелие может повысить урожайность на 30 % и более [14]	Точное земледелие использует возможности ИИ для оптимизации результативности, увеличения урожайности и обеспечения экологической устойчивости сельского хозяйства
Управление персоналом	Решения на основе ИИ	Оптимизация управления персоналом хозяйств	Помогает управляющим эффективно распределять трудовые ресурсы, планировать задачи и повышать общую производительность труда. Автоматизация рутинных административных задач	Сегмент обеспечивает эффективное использование рабочей силы в хозяйстве и более качественное управление персоналом, что экономит средств и улучшает работу хозяйств

Таблица составлена автором по [6–9, 11, 13, 15, 16].

Таблица 3. Технологии с использованием ИИ, разработанные в 2024 г.

Организация	Разработка
<i>AgriTech Solutions</i> (Пакистан) совместно с Университетом Среднего Запада в США	Прогностические модели для идентификации вспышек болезней позволят сельскохозяйственным предприятиям более эффективно проводить профилактические меры и сократить потери урожая. Применяется аналитика на основе ИИ для выявления ранних признаков болезней кукурузы, сои. Инициатива была поддержана грантом Министерства сельского хозяйства США в размере 4,5 млн долларов
Сельскохозяйственная фирма <i>Agroz Group Sdn Bhd</i> (Малайзия)	При поддержке <i>Microsoft AI</i> и облачных технологий создана <i>Agroz Copilot</i> для сельскохозяйственных предприятий и операционная система <i>Agroz Farm</i> . Объединяя передовые решения (в частности, датчики IoT, ИИ, анализ данных, автоматизацию, системы климат-контроля и инструменты управления водными ресурсами) и основываясь на периферийных вычислениях и 5G-связи, данная продукция цифровизирует и автоматизирует процессы для вертикальных ферм
Ведущая компания <i>Valmont Industries, Inc</i> (США)	Новая платформа на основе ИИ, оптимизирующая использование воды в сельском хозяйстве. На основании данных датчиков в реальном времени и спутниковых снимков система ИИ предоставляет точные рекомендации по орошению, которые корректируются в зависимости от погодных условий и состояния почвы. Эта технология направлена и на экономию воды, и на повышение урожайности за счет обеспечения оптимального уровня орошения
Агротехнологическая компания <i>Cropin Technology</i> (Индия)	<i>Aksara</i> – передовая система генеративного ИИ для ведения климатически оптимизированного сельского хозяйства; способна разрабатывать индивидуальные рекомендации по выращиванию в шести странах Индийского субконтинента 9 основных культур (риса, пшеницы, кукурузы, сорго, ячменя, хлопка, сахарного тростника, сои и проса); предоставляет полезную информацию о внесении удобрений и климатически оптимизированных методах выращивания, основанных на конкретных агроклиматических условиях; минимизирует трудности, с которыми сталкиваются малообеспеченные сельскохозяйственные сообщества в Юго-Восточной Азии, предоставляя заинтересованным сторонам в сельскохозяйственном секторе масштабируемые решения на основе ИИ
<i>Crop Max Technologies</i> (Канада)	Инновационная система дронов на базе ИИ для борьбы с вредителями. Система применяет передовые алгоритмы распознавания изображений и машинного обучения для выявления вредителей на ранней стадии, что значительно сокращает использование пестицидов и повышает эффективность соответствующих мер, предлагая экологичный подход к поддержанию здоровья и продуктивности сельскохозяйственных культур. На данную инициативу выделено 3 млн долларов от технологических венчурных фондов
<i>Stapman Terra Firma Analytics</i> (Калифорния)	Революционное приложение на основе ИИ для оптимизации сроков сбора урожая и логистики. Анализирует данные метеостанций, датчиков почв и рыночные тенденции, предоставляет сельскохозяйственным предприятиям точные графики сбора урожая, что позволяет повысить качество урожая и его рыночную стоимость, снижая при этом потери
<i>AssistAgro</i> (Россия)	Предлагает комплексное обслуживание и цифровую платформу на основе ИИ для оптимизации управления сельскохозяйственным бизнесом. Особое внимание уделяется таким задачам, как прогнозирование распространения сорных растений, анализ плотности и здоровья посевов, мониторинг возникновения и развития болезней/сорняков, оценка урожайности и определение наиболее перспективных сельскохозяйственных культур для посадки

Таблица составлена по [9, 13–15, 17, 18].

управление парком техники. С помощью ИИ сельхозпредприятие может внедрить предиктивную аналитику для мониторинга состояния техники, прогнозирования поломок, оптимизировать графики обслуживания и ремонтов, автоматизировать процессы управления техникой в поле. Это обеспечивает снижение простоев, продление срока службы оборудования, автоматизацию управления автопарком. Предиктивная аналитика от CNH Industrial предупреждает о возможных поломках комбайнов и тракторов, сокращая простои на 25 %. Автономные тракторы (например, *Case IH Autonomous Concept*) работают без водителя, оптимизируя маршруты и расход топлива.

Объекты хранения и переработки должны быть интегрированы в единую систему управления, в силу чего можно сократить потери и повысить качество продукции. С помощью ИИ можно контролировать микроклимат в хранилищах, прогнозировать сроки хранения продукции, др. В перерабатывающих цехах алгоритмы совершенствуют логистику и управление производственными линиями. ИИ-алгоритмы в хранилищах (например, *IBM Food Trust*) планируют сроки годности зерна и овощей, автоматически регулируя температуру и влажность. Роботизированные линии сортировки (например, *TOMRA Sorting Solutions*) с компьютерным зрением отбирают качественную продукцию, снижая расходы при переработке. Чтобы достичь высокого уровня организации производства, необходима интеграция ИИ во все процессы – от планирования посевов до логистики и сбыта. Комплексный учет и управление всеми ресурсами (от топлива до кормов и техники) разрешат предприятию перейти на принципы точного земледелия и умной фермы, что в итоге повысит рентабельность и конкурентоспособность агробизнеса. Внедряющие такие решения компании (*John Deere, Bayer, Syngenta, Lely*) демонстрируют рост эффективности на 15–40 %. В будущем ИИ станет стандартом для конкурентоспособного агробизнеса.

Следует отметить, что в России в 2021–2022 гг. благодаря федеральной инициативе «Искусственный интеллект» было поддержано свыше 600 проектов, направленных на создание и ускоренное внедрение ИИ-технологий. Кроме того, на базе ведущих вузов страны было основано 6 научно-исследовательских

центров, утверждено 85 магистерских программ по ИИ в 16 ведущих вузах. Следующей важной задачей в рамках реализации национальной стратегии в области ИИ является разработка практических решений на базе искусственного интеллекта и их широкое распространение среди компаний, представляющих наиболее значимые отрасли экономики России [19]. Активно внедряется ИИ в агропромышленный комплекс: за последние годы реализованы десятки проектов, охватывающих различные направления [20].

В Беларуси было принято решение о реализации мероприятия «Создание информационно-аналитической системы "Цифровая платформа точного земледелия" (первая очередь)» [2]. Данное мероприятие нацелено на формирование основы Цифровой платформы точного земледелия, входящей в состав инфраструктуры ведения пространственных данных, базовых подсистем и комплексов аппаратно-программных средств, с поэтапным эволюционным развитием к технологиям точного земледелия для сельскохозяйственных предприятий нашей страны. Эта платформа будет обеспечивать автоматизацию и поддержку принятия решений для специалистов сельхозпредприятий. Опыт реализации в Беларуси технологий с использованием ИИ был представлен в [21].

По мере сокращения рабочей силы в сельском хозяйстве, вызванного такими факторами, как старение населения и миграция в города, потребность в автоматизации становится все более острой. Растущая нехватка рабочей силы в сельскохозяйственном секторе открывает значительные рыночные возможности для внедрения ИИ и робототехники. Благодаря интеграции ИИ роботизированные системы могут адаптироваться к различным типам культур и условиям, обеспечивая точность и сводя к минимуму количество отходов [6, 7, 22, 23].

Кроме того, с помощью ИИ и робототехники можно решить проблему непредсказуемости и сезонности спроса на трудовые ресурсы. Автоматизированные системы в состоянии работать круглосуточно, независимо от погодных условий или наличия трудовых ресурсов, обеспечивая тем самым последовательную и своевременную сельскохозяйственную деятельность [24].

Заключение

ИИ открывает новые горизонты для сельского хозяйства, а по мере его развития он становится необходим для аграриев, которые должны быстро адаптироваться к меняющимся требованиям рынка и климатическим условиям, принимая своевременные и точные решения. Технологии с применением ИИ влияют на урожайность сельскохозяйственных культур, поскольку позволяют выверенно прогнозировать и улучшать условия выращивания, распределять ресурсы и выбирать самые рациональные методы управления, что может повысить производительность, сократить отходы и снизить рисков на ошибку. Автоматизируя рутинные задачи с использованием ИИ, сельскохозяйственные организации могут урезать издержки и сосредоточить свои ресурсы на стратегических аспектах управления хозяйством.

Однако нехватка ресурсов для сельскохозяйственной сферы (воды, семян и удобрений) может препятствовать развитию ИИ в сельскохозяйственном секторе. Многие приложения ИИ зависят от точного управления ресурсами, а в регионах, испытывающих дефицит этих критически важных ресурсов, потенциальные преимущества ИИ сводятся к нулю. Следовательно, несмотря на то что ИИ обещает оптимизировать использование ресурсов и улучшить управление сельскохозяйственными культурами, это ограничение представляют собой серьезное препятствие для реализации всего потенциала ИИ в мировом сельском хозяйстве. Огромный потенциал ИИ и его внедрение в сельское хозяйство большинства государств сопряжены с рядом трудностей: высокой стоимостью технологий, недостатком квалифицированных кадров, необходимостью сбора, обработки, защиты больших объемов данных и развития цифровой инфраструктуры в сельской местности.

Проблемы, связанные с внедрением ИИ в сельское хозяйство Беларуси:

1) *технологические*: недостаток качественных данных (для эффективной работы ИИ необходимы большие объемы структурированных данных, например, о почве, погоде, урожайности, болезнях растений и т. д.). Сбор и обработка таких данных затруднены: из-за отсутствия единой цифровой платформы для

сбора и хранения данных; низкой оснащенности хозяйств датчиками IoT и системами мониторинга; низкого уровня цифровой инфраструктуры – во многих сельских районах слабо развиты высокоскоростной интернет, облачные сервисы для обработки данных, современные системы связи (5G, LoRaWAN и др.); ограниченности совместимости технологий – разные производители сельхозтехники и ПО используют закрытые стандарты, что усложняет интеграцию ИИ-решений. Так, данные от белорусских комбайнов (производства «Гомсельмаш») могут не совмещаться с зарубежными аналитическими платформами). Примерно 80 % *AgriTech*-оборудования и ПО завозится из России, Китая, ЕС.

2. *Экономические*: высокая стоимость внедрения – закупка ИИ-решений (дроны, сенсоры, ПО) требует значительных инвестиций, что недоступно для многих мелких и средних хозяйств; недостаток финансирования и господдержки – ограниченные программы субсидирования цифровизации АПК; низкая доступность кредитов на инновационные технологии. Доля затрат на цифровизацию в бюджетах сельхозпредприятий составляет менее 5 % согласно данным Национального статистического комитета Республики Беларусь (2023).

3. *Организационные и кадровые проблемы*: нехватка квалифицированных специалистов – дефицит IT-специалистов, способных работать с ИИ в сельском хозяйстве; низкий уровень цифровой грамотности, консерватизм сельхозпроизводителей; только 25 % работников АПК проходят обучение цифровым технологиям; многие аграрии скептически относятся к цифровизации, предпочитая традиционные методы.

4. *Нормативно-правовые проблемы*: отсутствие четкого регулирования – нет стандартов по сбору и использованию сельхозданных; не разработаны нормы по применению автономной техники (роботов, дронов).

5. *Агроэкологические проблемы*: климатические риски – изменчивость погоды (засуха, заморозки) требует адаптивных ИИ-моделей, но их разработка сложна из-за недостатка исторических данных; деградация почв (в Полесском регионе) – ИИ может помочь в мони-

торинге состояния почв, но для этого нужны дорогостоящие сенсоры и спутниковые данные.

Беларусь имеет большой потенциал для внедрения ИИ в сельское хозяйство, но для этого следует решить проблемы с данными,

инфраструктурой, финансированием и регулированием; также важна государственная поддержка и партнерство между наукой, бизнесом и специалистами сельскохозяйственного сектора.

Библиографический список

1. Искусственный интеллект в сельском хозяйстве // Direct.Farm. – URL: <https://direct.farm/post/iskusstvennyy-intellekt-v-selskom-khozyaystve-27772> (дата обращения: 27.02.2025).
2. Гусаков, В. Г. Цифровое сельское хозяйство Республики Беларусь / В. Г. Гусаков. – Минск : Беларус. навука, 2024. – 553 с.
3. Искусственный интеллект в сельском хозяйстве – тенденции, возможности AI для отрасли // Первый Бит. Международный ИТ-интергатор. – URL: https://1solution.ru/events/articles/iskusstvennyy-intellekt-v-selskom-khozyaystve-tendentsii-vozmozhnosti-ai-dlya-otrasli/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.by%2F (дата обращения: 03.03.2025).
4. Меняющийся ландшафт искусственного интеллекта в сельском хозяйстве // Ultralytics. – URL: <https://www.ultralytics.com/ru/blog/the-changing-landscape-of-ai-in-agriculture???history=0&pfid=1&sample=5&ref=0> (data of accaess: 12.03.2025).
5. Умное сельское хозяйство: вершина 7 случаев использования, которые стоит знать // MOKOSmart. – URL: <https://www.mokosmart.com/ru/iot-in-agriculture/?history=0&pfid=1&sample=37&ref=0> (data of access: 25.02.2025)
6. Скворцов, Е. А. Перспективы применения технологий искусственного интеллекта в сельском хозяйстве региона / Е. А. Скворцов // Экономика региона. – 2020. – № 2. – С. 563–576.
7. Чиркин, С. О. Применение искусственного интеллекта в сельском хозяйстве / С. О. Чиркин, Н. В. Картечина, В. А. Рубанов // Наука и образование. – 2022. – № 2. – С. 121–124.
8. AI in agriculture market // Roots Analysis. Business research and consulting. – URL: <https://www.rootsanalysis.com/ai-in-agriculture-market> (date of access: 27.02.2025).
9. Artificial intelligence in agriculture market size, share, and trends 2024 to 2034 / Precedence Research. – URL: <https://www.precedenceresearch.com/artificial-intelligence-in-agriculture-market> (date of access: 06.03.2025).
10. Цифровая трансформация в компаниях // Tadviser. Государство. Бизнес. Технологии. – URL: <https://www.tadviser.ru/index.php/> (дата обращения: 11.03.2025).
11. Сайфетдинов, А. Р. Применение машинного обучения и искусственного интеллекта для анализа данных сельского хозяйства и повышения урожайности / А. Р. Сайфетдинов, А. А. Максименко // Контентус. – 2023. – № 75. – Т. 8. – С. 28–34.
12. Ужинский, А. Искусственный интеллект против болезней растений / А. Ужинский // Открытые системы СУБД. – 2023. – № 3. – С. 29–31.
13. AI in agriculture – future of farming // GeeksforGeeks. – URL: <https://www.geeksforgeeks.org/ai-in-agriculture-future-of-farming/> (date of access: 04.03.2025).
14. Kumar, A. Agriculture Use Cases & Machine Learning Applications / A. Kumar // Analytics Yogi. – URL: <https://vitalflux.com/agriculture-use-cases-machine-learning-applications/> (date of access: 04.03.2025).
15. Fagella, D. AI in Agriculture – Present Applications and Impact / D. Fagella // Emerj. – URL: <https://emerj.com/ai-agriculture-present-applications-impact/> (date of access: 04.03.2025).
16. Применение технологий искусственного интеллекта в сельском хозяйстве / Е. А. Скворцов, В. И. Набоков, К. В. Некрасов, Е. Г. Скворцова, М. И. Кротов // Аграр. вест. Урала. – 2019. – № 8. – С. 91–97.

17. Artificial Intelligence in agriculture: farming for the 21st Century / Apro Software. – URL: <https://apro-software.com/artificial-intelligence-in-agriculture/> (date of access: 05.03.2025).
18. Искусственный интеллект в сельском хозяйстве России // Технологии ИИ. – URL: https://files.data-economy.ru/Docs/Infografika_AI_s_h_Russia.pdf (дата обращения: 07.03.2025).
19. «Умные» фермы: как искусственный интеллект меняет сельское хозяйство // РБК. Национальные проекты. – URL: https://www.rbc.ru/technology_and_media/14/06/2023/64802aae9a7947c6121756b7???history=0&pfid=1&sample=33&ref=2. – Дата публ.: 14.06.2023.
20. Апрецов, С. Применение ИИ в сельском хозяйстве / С. Апрецов // Цифровой океан. – URL: <https://digitalocean.ru/n/polevye-usloviya???history=0&pfid=1&sample=33&ref=0>. – Дата публ.: 03.10.2023.
21. Журавлев, В. А. Цифровизация сельского хозяйства в Республике Беларусь: технологические решения для развития / В. А. Журавлев // Аграр. экономика. – 2024. – № 3 (346). – С. 60–70.
22. AI in agriculture: using computer vision to improve crop yields // Analytics Vidhya. – URL: <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2023/01/ai-in-agriculture-using-computer-vision-to-improve-crop-yields/> (date of access: 05.03.2025).
23. Журавлев, В. А. Цифровизация и цифровые технологии в сельском хозяйстве в странах Европейского союза / В. А. Журавлев, И. Л. Десюкевич // Аграр. экономика. – 2024. – № 8 (351). – С. 64–81.
24. Цифровая трансформация. Анализ, тренды, мировой опыт. – 3-е изд., исправ. и доп. – Москва : ООО «КомНьюс Груп», 2019. – 368 с.

Поступила 28 августа 2025 г.