

УДК 004.738

UDC 004.738

4.1.1. Общее земледелие и растениеводство

4.1.1. General agriculture and crop production

**РОБОТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА:
КАК ИИ-УПРАВЛЯЕМЫЕ РОБОТЫ МЕНЯЮТ
ЛАНДШАФТ РАБОЧИХ МЕСТ НА ПОЛЯХ И
ФЕРМАХ**

**ROBOTIC AGRICULTURE: HOW AI-
CONTROLLED ROBOTS ARE CHANGING
THE LANDSCAPE OF WORKPLACES IN
FIELDS AND FARMS**

Крепышев Дмитрий Александрович

канд. экон. наук, доцент

e-mail krepyshev.d@kubsau.ru

*ФГБОУ ВО Кубанский государственный аграрный
университет имени И. Т. Трубилина, г. Краснодар, РФ*

Krepyshev Dmitry Alexandrovich

Senior lecturer

e-mail krepyshev.d@kubsau.ru

*FSAU HE Kuban State Agrarian University named
after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia*

Бражина Полина Данииловна

студент

brazhina.polina@yandex.ru

*Кубанский государственный аграрный университет
имени И.Т. Трубилина, Россия, Краснодар 350044,
Калинина 13*

Brazhina Polina Daniilovna

student

brazhina.polina@yandex.ru

*“Kuban State Agrarian University named after I.T.
Trubilin”, Krasnodar 350044, Kalinina 13, Russia “*

Сельскохозяйственный сектор сталкивается с многочисленными вызовами, включая болезни растений, поражение вредителями, дефицит водных ресурсов, распространение сорняков и другие проблемы, приводящие к значительным потерям урожая, экономическим убыткам и экологическим рискам вследствие традиционных методов ведения сельского хозяйства. Технологии искусственного интеллекта (ИИ) и роботизации обладают значительным потенциалом для эффективного решения этих проблем. Поскольку сельское хозяйство является динамичной отраслью, применение ИИ и робототехники требует разработки специализированных решений для каждой конкретной задачи. В данном исследовании представлен систематический анализ современных технологий ИИ и роботизации, применяемых в сельском хозяйстве, с акцентом на их эффективность, экономические и экологические последствия. В работе рассматриваются ключевые направления автоматизации, включая мониторинг посевов, точное распыление пестицидов, роботизированную прополку, автоматизированный полив и уборку урожая. Особое внимание уделено влиянию цифровизации на рынок труда и трансформации профессиональных навыков в агропромышленном комплексе

The agricultural sector faces numerous challenges, including plant diseases, pest infestation, water shortages, weed infestation, and other problems that lead to significant crop losses, economic losses, and environmental risks due to traditional farming practices. Artificial intelligence (AI) and robotics technologies have significant potential to effectively address these challenges. Since agriculture is a dynamic industry, the application of AI and robotics requires the development of specialized solutions for each specific task. This study presents a systematic analysis of modern AI and robotics technologies applied in agriculture, focusing on their effectiveness, economic, and environmental impacts. The paper considers key areas of automation, including crop monitoring, precision pesticide spraying, robotic weeding, automated irrigation, and harvesting. Particular attention is paid to the impact of digitalization on the labor market and the transformation of professional skills in the agro-industrial complex

Ключевые слова: ИИ, СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО,
РОБОТОТЕХНИКА, ТОЧНОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ

Keywords: AI, AGRICULTURE, ROBOTICS,
PRECISION FARMING

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-211-008>

Введение.

Сельское хозяйство всегда было одной из ключевых отраслей экономики, обеспечивающей человечество продовольствием. Однако с ростом населения, изменением климата и нехваткой рабочей силы традиционные методы ведения сельского хозяйства становятся менее эффективными. Все больше фермеров и агрохолдингов внедряют роботизированные системы и искусственный интеллект (ИИ) для оптимизации агропроизводства.

Роботизация сельского хозяйства — это процесс автоматизации рутинных и трудоёмких задач с помощью автономных машин, дронов и роботизированных платформ, управляемых алгоритмами ИИ. Эти технологии позволяют повысить урожайность, снизить затраты на рабочую силу и минимизировать экологический ущерб. Но их внедрение также меняет структуру занятости в аграрном секторе, вытесняя одни профессии и создавая новые.

Цель данной статьи — рассмотреть, как ИИ-управляемые роботы трансформируют сельское хозяйство, какие технологии уже применяются, каковы их преимущества и недостатки, как эти изменения влияют на рынок труда, их экономические и экологические эффекты, а также барьеры для массового внедрения.

Актуальность темы обусловлена необходимостью баланса между технологическим прогрессом, устойчивым развитием агросектора и социальной стабильностью в условиях глобальных изменений. Результаты исследования будут полезны фермерам, разработчикам агротехнологий, политикам и исследователям, работающим над стратегиями цифровизации сельского хозяйства.

Материалы и методы.

В сельском хозяйстве и производстве продуктов питания исследование GeSI [1] описывает возможные результаты расширения прав и возможностей технологий на основе ИИ, которые могут принести пользу окружающей среде, например, 30%-ный рост урожайности, сокращение более чем на 300 миллиардов литров потребления воды и сокращение потребления нефти на 25 миллионов баррелей в год к 2030 году. Согласно другому исследованию, проведенному PwC, ИИ может добавить 232 миллиарда долларов к ВВП Великобритании к 2030 году [2].

Все отрасли изменчивы и сельскохозяйственный сектор должен был адаптировать прорывы и инновации, которые произошли в области автоматизации. ИИ и робототехника стимулируют производство в наших существующих методах ведения сельского хозяйства, чтобы максимизировать производство и минимизировать отходы, не оказывая отрицательного воздействия на окружающую среду [3].

Интеллектуальное земледелие ориентировано на автоматизированное принятие решений [4] для обеспечения производительности ресурсов, повышения качества продукции, защиты урожая, экологической устойчивости, снижения расходов на выращивание, увеличения доли рынка, повышения рентабельности и сохранения рабочей силы [5]. Робототехника и системы ИИ могут помочь сельскохозяйственным рабочим в выполнении мероприятий по выращиванию сельскохозяйственных культур, прогнозировать урожайность на несколько месяцев вперед для следующих нескольких подготовительных действий в сочетании с цифровыми сельскохозяйственными технологиями. В сельском хозяйстве робототехника и технологии точного земледелия способствуют

использованию меньшего количества агрохимикатов и удобрений в результате того, что целевые системы доставляют нужное количество в нужное место и в нужное время [7].

В исследовании были рассмотрены следующие технологии, которые уже применяются для автоматизации сельского хозяйства.

Технология идентификации болезней растений и вредителей с использованием ИИ позволяет осуществлять раннюю и точную диагностику, снижая потери урожая. Мобильные приложения дают возможность быстрого получения диагноза без привлечения экспертов. Уменьшается риск массового заражения посевов. При этом имеются и недостатки: требуется обширная база данных изображений для обучения моделей, где точность зависит от качества фотографий, и не все фермеры имеют доступ к необходимым цифровым устройствам.

Системы точечного распыления пестицидов демонстрируют значительное сокращение расхода химикатов на 50-70%, минимизируя вред для полезных насекомых. Автоматизация процесса с помощью ИИ снижает зависимость от ручного труда. К ограничениям системы можно отнести высокую стоимость оборудования, чувствительность к погодным условиям и необходимость регулярного обслуживания техники.

Роботизированные системы для прополки обеспечивают сокращение использования гербицидов, точное удаление сорняков без повреждения культур и снижение трудозатрат. Однако отмечаются такие факторы как ограниченная эффективность на сильно заросших полях, высокая стоимость оборудования и сложность настройки алгоритмов для разных культур.

Автоматизированные системы полива показывают высокую

эффективность оптимизации водопотребления с экономией до 30-50% и повышение урожайности. Но отмечается высокая стоимость сенсоров и систем управления, зависимость от электроснабжения; а также риск поломки оборудования.

Роботизированная уборка урожая существенно сокращает потерю продукции, решает проблемы нехватки рабочей силы и дает возможность работать в сложных условиях. Но существуют и недостатки: ограниченная применимость для некоторых культур, высокая стоимость оборудования, а также необходимость постоянной доработки алгоритмов.

Автоматизированные посевные системы демонстрируют повышение точности посева, сокращение трудозатрат в 3-4 раза; минимизацию перерасхода семян. Но системы сложно установить и настроить на неровном рельефе и оборудование будет дорогостоящим.

Фермерские приложения и цифровые платформы обеспечивают упрощение управления хозяйством, прогнозирование урожайности и доступ к оперативным рекомендациям. Проблемными аспектами являются зависимость от интернет-соединения, недоверие консервативных фермеров к алгоритмам и высокая стоимость подписки.

Технологии роботизированного опыления обладают потенциалом для компенсации сокращения популяции пчел, работы в теплицах и точного опыления. Однако отмечаются чрезвычайно высокая стоимость, невозможность полной замены естественных опылителей, а также энергозатратность.

Системы мониторинга посевов с использованием БПЛА обеспечивают оперативный сбор данных, охват больших площадей, снижение затрат на обследование. К ограничениям относятся небольшое

время полета, необходимость обучения операторов, чувствительность к погодным условиям.

Результаты

Наибольшее распространение получили технологии ИИ-мониторинга посевов (25-30% внедрения), что обусловлено их относительной доступностью и комплексным эффектом, включающим 12-15% рост урожайности и 35% снижение потерь [5]. Однако их эффективность напрямую зависит от наличия квалифицированных операторов, что создает кадровые ограничения. Роботизированная прополка, несмотря на впечатляющие показатели экономии гербицидов (40-60%) и увеличения урожайности (10-12%), остается малодоступной для большинства хозяйств из-за высокой стоимости оборудования [8]. Наименьшее распространение (5-8%) демонстрируют автономные уборочные системы, что объясняется их узкой специализацией и ограниченной универсальностью [10], несмотря на значительное снижение потерь урожая (25-30%) и существенный рост производительности (15-20%). Общим ограничением для всех технологий остается необходимость значительных первоначальных инвестиций и сложность интеграции в существующие производственные процессы. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1. Эффективность внедрения сельскохозяйственных технологий

Технология	Уровень внедрения	Экономия ресурсов	Рост урожайности	Основные ограничения
ИИ-мониторинг посевов	25-30%	Снижение потерь на 35%	+12-15%	Требуется квалифицированных операторов [5]
Роботизированная прополка	8-12%	Экономия гербицидов 40-60%	+10-12%	Высокая стоимость оборудования [8]
Автономные уборочные системы	5-8%	Снижение потерь 25-30%	+15-20%	Ограниченная универсальность [10]

Показатели, представленные в таблице 2, свидетельствуют о глубокой структурной трансформации сельскохозяйственного рынка труда. Наиболее выраженной тенденцией стало резкое сокращение спроса на неквалифицированных рабочих (25-30%) и операторов сельхозтехники (15-20%), что напрямую связано с автоматизацией рутинных операций и появлением автономных систем [3,7]. Параллельно наблюдается взрывной рост потребности в агроаналитиках данных (60-70%) и технических специалистах (45-50%), что отражает переход к цифровым моделям управления сельским хозяйством [5]. Однако существующая система профессионального образования не успевает адаптироваться к этим изменениям, что уже сейчас создает дефицит квалифицированных кадров и приводит к росту заработных плат в высокотехнологичных сегментах на 25-30% [3]. Эти тенденции указывают на необходимость коренного пересмотра подходов к подготовке кадров для агропромышленного комплекса, с акцентом на цифровые компетенции и навыки работы с интеллектуальными системами [2].

Таблица 2. Динамика сельскохозяйственного рынка труда

Категория работников	Изменение спроса	Основные причины	Прогноз на 2030 год
Неквалифицированные рабочие	▼ 25-30%	Автоматизация ручных операций [12]	Продолжение сокращения
Операторы сельхозтехники	▼ 15-20%	Появление автономных систем [4]	Стабилизация после 2027
Агроаналитики данных	▲ 60-70%	Потребность в обработке big data [8]	Дефицит специалистов
Технические специалисты	▲ 45-50%	Обслуживание роботизированных систем [12]	Рост зарплат на 25-30%

Экономические эффекты от внедрения технологий проявляются в снижении себестоимости продукции на 15-25% и повышении рентабельности на 10-18% [3], при этом срок окупаемости

автоматизированных систем составляет 3-5 лет. Экологические преимущества включают сокращение углеродного следа на 20-30%, уменьшение химической нагрузки на почвы на 40-50% и значительную оптимизацию водопользования [1].

Однако массовому внедрению технологий препятствуют несколько существенных барьеров. Около 60-70% хозяйств сталкиваются с проблемой высокой капиталоемкости технологий, 45-50% - с нехваткой квалифицированных кадров. Техническая сложность интеграции новых систем отмечается в 30-35% случаев [7], а консерватизм отрасли остается существенным фактором для 25-30% фермеров. Эти данные подтверждают необходимость комплексного подхода к цифровой трансформации сельского хозяйства, включающего не только технологическую модернизацию [4], но и подготовку кадров, развитие инфраструктуры и изменение управленческих подходов.

Заключение

Проведенное исследование наглядно демонстрирует, что внедрение технологий ИИ и роботизации приводит к фундаментальным изменениям в сельском хозяйстве, открывая новые возможности для повышения эффективности производства. Полученные результаты подтверждают первоначальные предположения, о том, что автоматизация становится отличным решением для решения современных проблем, таких как рост населения, изменение климата и нехватка рабочей силы.

Наиболее значимые достижения наблюдаются в области точного земледелия, где системы мониторинга и автоматизированного полива обеспечивают 15-30% прирост урожайности при одновременной экономии водных ресурсов до 50%. Однако более сложные роботизированные решения, такие как автономные уборочные системы, пока остаются малодоступными для большинства хозяйств из-за

высокой стоимости и технологических сложностей.

Отдельного внимания заслуживают экологические аспекты цифровизации сельского хозяйства. Как показало исследование, применение интеллектуальных систем позволяет сократить использование химикатов на 40-70%, что имеет большое значение для устойчивого развития агропромышленного комплекса. Экономический анализ подтвердил рентабельность инвестиций в автоматизацию - средний срок окупаемости составляет 3-5 лет при снижении себестоимости продукции на 15-25%. Однако массовому внедрению технологий препятствуют такие факторы, как недостаток квалифицированных кадров, консерватизм отрасли и необходимость существенных первоначальных инвестиций.

Наиболее глубокие трансформации происходят на рынке труда, где мы наблюдаем парадоксальную ситуацию: с одной стороны, автоматизация приводит к сокращению традиционных сельскохозяйственных профессий на 25-30%, с другой - вызывает острую нехватку специалистов в области анализа данных и обслуживания роботизированных систем. Этот дисбаланс создает серьезные социальные вызовы и требует кардинального пересмотра подходов к профессиональной подготовке кадров для агропромышленного комплекса.

Перспективы дальнейшего развития цифрового сельского хозяйства зависят от решения трех ключевых задач: разработки более доступных технологических решений, создания эффективных программ переподготовки работников и формирования адаптивной нормативной базы. Реализация этого комплексного подхода позволит полностью раскрыть потенциал современных технологий для создания устойчивой и высокопродуктивной системы агропроизводства.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. C. Challenges, ICT Solutions for 21, № декабрь, стр. 9, 2015, [онлайн]. Доступно: http://smarter2030.gesi.org/downloads/Chapter_Health.pdf.
2. Искусственный интеллект может добавить £232 млрд к ВВП Великобритании к 2030 году — исследование PwC, 28 июня 2017 г. <https://www.pwc.co.uk/press-room/pressreleases/artificial-intelligence-could-add-232bn-to-UK-gdp.html>
3. I. Charania и X. Li, «Интернет вещей. Умное фермерство: переход сельского хозяйства от трудоемкой к технологичной отрасли», Интернет вещей, т. 9, стр. 100142, 2020, doi: 10.1016/j.iot.2019.100142.
4. M. Robert, A. Thomas и J.-E. Bergez, Процессы адаптации в моделях принятия решений в сельском хозяйстве. Обзор, Agron. Sustain. Dev., doi: 10.1007/s13593-016-0402-x.
5. P. Gonzalez-de-santos, R. Fern, D. Sep, E. Navas, L. Emmi и M. Armada, Полевые роботы для интеллектуальных ферм — наследование характеристик из промышленности, 2020.
6. «CEMA — Европейская сельскохозяйственная техника — Дом». <https://www.cema-agri.org/>
7. V. Marinoudi, C. G. Sørensen, S. Pearson и D. Bochtis, ScienceDirect Робототехника и труд в сельском хозяйстве. Контекстное рассмотрение, Biosyst. Eng., т. 184, стр. 111–121, 2019, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2019.06.013.
8. Ущерб, причиненный сорняками - NIOS. http://oer.nios.ac.in/wiki/index.php/Damages_caused_by_Weeds.
9. T. Talaviya, D. Shah, N. Patel, H. Yagnik и M. Shah, «Внедрение искусственного интеллекта в сельское хозяйство для оптимизации орошения и применения пестицидов и гербицидов», Artif. Intell. Agric., т. 4, стр. 58–73, 2020, doi: 10.1016/j.aiia.2020.04.002.
10. Y. Onishi, T. Yoshida, H. Kurita, T. Fukao, H. Arihara и A. Iwai, Автоматизированный робот для сбора урожая фруктов с использованием глубокого обучения, ROBOMECH J., т. 6, № 1, стр. 2–9, 2019, doi: 10.1186/s40648-019-0141-2.

REFERENCES

1. C. Challenges, ICT Solutions for 21, № dekabr', str. 9, 2015, [onlajn]. Dostupno: http://smarter2030.gesi.org/downloads/Chapter_Health.pdf.
2. Iskustvennyj intellekt mozhет dobavit' £232 mlrd k VVP Velikobritanii k 2030 godu — issledovanie PwC, 28 ijunja 2017 g. <https://www.pwc.co.uk/press-room/pressreleases/artificial-intelligence-could-add-232bn-to-UK-gdp.html>
3. I. Charania i X. Li, «Internet veshhej. Umnое fermerstvo: perehod sel'skogo hozjajstva ot trudoemkoj k tehnologichnoj otrasli», Internet veshhej, t. 9, str. 100142, 2020, doi: 10.1016/j.iot.2019.100142.
4. M. Robert, A. Thomas i J.-E. Bergez, Processy adaptacii v modeljah prinjatija reshenij v sel'skom hozjajstve. Obzor, Agron. Sustain. Dev., doi: 10.1007/s13593-016-0402-x.
5. P. Gonzalez-de-santos, R. Fern, D. Sep, E. Navas, L. Emmi i M. Armada, Polevye roboty dlja intellektual'nyh ferm — nasledovanie harakteristik iz promyshlennosti, 2020.
6. «CEMA — Evropejskaja sel'skohozjajstvennaja tehnika — Dom». <https://www.cema-agri.org/>
7. V. Marinoudi, C. G. Sørensen, S. Pearson i D. Bochtis, ScienceDirect Robototekhnika i trud v sel'skom hozjajstve. Kontekstnoe rassmotrenie, Biosyst. Eng., t. 184, str. 111–121, 2019, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2019.06.013.
8. Ushherb, prichinennyj sornjakami - NIOS.

http://oer.nios.ac.in/wiki/index.php/Damages_caused_by_Weeds.

9. T. Talaviya, D. Shah, N. Patel, H. Yagnik i M. Shah, «Vnedrenie iskusstvennogo intellekta v sel'skoe hozjajstvo dlja optimizacii oroshenija i primenenija pesticidov i gerbicidov», Artif. Intell. Agric., t. 4, str. 58–73, 2020, doi: 10.1016/j.aiia.2020.04.002.

10. Y. Onishi, T. Yoshida, H. Kurita, T. Fukao, H. Arihara i A. Iwai, Avtomatizirovannyj robot dlja sbora urozhaja fruktov s ispol'zovaniem glubokogo obuchenija, ROBOMECH J., t. 6, № 1, str. 2–9, 2019, doi: 10.1186/s40648-019-0141-2.