

ЭЛЕКТРОННЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ В ОТРАСЛЯХ

ОБЗОР И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, КИТАЯ И БЕЛОРУССИИ

Получено 05.08.2024

Доработано 23.09.2024

Принято 30.09.2024

УДК 338.439

JEL E48

DOI <https://doi.org/10.26425/2658-3445-2024-7-3-4-19>

Матвейчук Наталья Михайловна

Канд. физ.-мат. наук, зав. каф. автоматизированных систем управления производством

Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

ORCID: 0000-0002-4991-4271

E-mail: matsveichuk.asup@bsatu.by

Сотсков Юрий Назарович

Д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр.

Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

ORCID: 0000-0002-9971-6169

E-mail: sotskov48@mail.ru

Михайлов Алексей Юрьевич

Канд. экон. наук, вед. науч. сотр.

Институт Китая и современной Азии Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

ORCID: 0000-0003-2478-0307

E-mail: alexeyfa@ya.ru

АННОТАЦИЯ

Представлены исследования и обзорные статьи, опубликованные в период с 2014 г. по 2023 г., посвященные использованию облачных технологий и блокчейна для развития интеллектуального сельского хозяйства в Российской Федерации (далее – РФ, Россия), Китае и Белоруссии. Перечислены основные направления цифровизации современного сельского хозяйства. Проведено сравнение технического прогресса сельского хозяйства в РФ и соседних европейских странах (Польше и Латвии). Результаты опроса показывают, что в РФ передовые разработки учитывают почвенно-климатические и агротехнологические особенности территории, развиты поставщики облачных технологий и собственные центры обработки данных. Отмечено, что некоторые практические системы не унифицированы, вычислительные ресурсы географически распределены, а цифровыми платформами в РФ пользуются менее 8–10 % фермерских хозяйств. Описаны перспективные направления исследований современных технологий и их применения в сельском хозяйстве. Настоящее исследование посвящено информационным технологиям, применяемым в интеллектуальном сельском хозяйстве на основе облачных вычислений и блокчейна. Для интеллектуального сельского хозяйства характерны большие объемы данных. Передача и анализ данных в такой информационной системе основаны на облачных технологиях. Процессы агропроизводственного цикла связаны с другими звеньями цепочки создания стоимости в сложных высокоавтоматизированных производственных и логистических цепочках, охватывающих оптовые и розничные торговые компании, логистику, сельскохозяйственных производителей и их поставщиков. Такие цепочки могут снизить себестоимость и розничные цены на продукты питания, а также потребность в производственных и сбытовых мощностях. Цифровизация цепочек поставок и создания стоимости, развитие цифровых платформ, объединяющих участников агроэкосистемы, приводят к использованию блокчейна.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Современное сельское хозяйство, интеллектуальное земледелие, информационные технологии, облачные вычисления, блокчейн, искусственный интеллект, нечеткая логика, цифровизация

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Матвейчук Н.М., Сотсков Ю.Н., Михайлов А.Ю. Обзор и перспективы развития управления информационными технологиями в сельском хозяйстве Российской Федерации, Китая и Белоруссии//E-Management. 2024. Т. 7, № 3. С. 4–19.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование первого и второго авторов было профинансировано Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований, грант № Ф23РНФ-017.

© Матвейчук Н.М., Сотсков Ю.Н., Михайлов А.Ю., 2024.

Статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0. всемирная (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



ELECTRONIC MANAGEMENT IN VARIOUS FIELDS

REVIEW AND PROSPECTS OF INFORMATION TECHNOLOGIES MANAGEMENT IN AGRICULTURE

Received 05.08.2024

Revised 23.09.2024

Accepted 30.09.2024

Natalja M. Matsveichuk

Cand. Sci. (Phys. and Math.), Head of the Automated Production Management Systems Department

Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Republic of Belarus

ORCID: 0000-0002-4991-4271

E-mail: matsveichuk.asup@bsatu.by

Yuri N. Sotskov

Dr. Sci. (Phys. and Math.), Chief Researcher

United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

ORCID: 0000-0002-9971-6169

E-mail: sotskov48@mail.ru

Alexey Yu. Mikhailov

Cand. Sci. (Econ.), Leading Researcher

Institute of China and Contemporary Asia of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

ORCID: 0000-0003-2478-0307

E-mail: alexeyfa@ya.ru

ABSTRACT

The paper presents research and review articles published between 2014 and 2023 on the use of cloud technologies and blockchain for smart agriculture development in Russia, China and the Republic of Belarus. The main directions of modern agriculture digitalization have been listed. The comparison of technical progress of agriculture in Russia and neighboring European countries (Poland and Latvia) has been carried out. The survey results show that in Russia advanced developments consider soil-climatic and agro-technological peculiarities of the territory, cloud technology providers and own data processing centers are being developed. Some practical systems are not unified, computing resources are geographically distributed, and less than 8–10 % of farms in Russia use digital platforms. Promising research directions of modern technologies and their application in agriculture have been described. The article studies information technologies used in intelligent agriculture based on cloud computing and blockchain. Intelligent agriculture is characterized by large amounts of data. Data transmission and analysis in such information system are based on cloud technologies. Agro-production processes are linked to other parts of the value chain in complex, highly automated production, and logistics chains involving wholesalers, retailers, logistics, agricultural producers, and their suppliers. Such chains can reduce food costs and retail prices, as well as the need for production and distribution capacity. Supply and value chains digitalization and digital platforms development that connect participants in the agroecosystem are driving the use of blockchain.

KEYWORDS

Modern agriculture, smart farming, information technology, cloud computing, blockchain, artificial intelligence, fuzzy logic, digitalization

FOR CITATION

Matsveichuk N.M., Sotskov Yu.N., Mikhailov A.Yu. (2024) Название. *E-Management*, vol. 7, no. 3, pp. 4–19. DOI: 10.26425/2658-3445-2024-7-3-4-19

ACKNOWLEDGEMENTS

The research of the first and second authors was funded by the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research, grant No. Ф23РНФ-017.

© Matsveichuk N.M., Sotskov Yu.N., Mikhailov A.Yu., 2024.

This is an open access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Сельское хозяйство 1.0, или традиционное, основано на использовании обычного труда с низкой производительностью (этот этап включает начало XX в.). Сельское хозяйство 2.0 характеризуется широким использованием механизации, удобрений и средств защиты растений с резким повышением потенциала урожайности (Сельское хозяйство 2.0 было начато в 1950-е гг. XX в.). Сельское хозяйство 3.0 основано на технологиях точного земледелия, таких как технология наведения, технологии применения с переменной скоростью, телематика, управление данными с более высокой степенью точности операций и использование ИТ для формирования данных с помощью датчиков и GPS (Сельское хозяйство 3.0 было запущено с начала 1990-х гг.).

Сельское хозяйство 4.0 и Сельское хозяйство 5.0 называются цифровым, или умным, сельским хозяйством. Различные подходы к определению концепции Сельского хозяйства 4.0 анализируются [Bouri et al., 2021; Bouri et al., 2021]. Термин «умное сельское хозяйство» используется в сельскохозяйственном секторе, направленном на оптимизацию деятельности фермеров для увеличения эффективности производства и интеллектуализации системы ведения сельского хозяйства. Внедрение интеллектуальных систем («умная» ферма, «умное» поле, «умный» сад, «умная» теплица и «умное» сельскохозяйственное предприятие) возможно благодаря использованию современных цифровых информационных технологий.

Настоящее исследование посвящено информационным технологиям, применяемым в интеллектуальном сельском хозяйстве на основе облачных вычислений и блокчейна. Интеллектуальное сельское хозяйство характеризуется большим объемом данных. Передача и анализ данных в такой информационной системе осуществляются на основе облачных технологий. Процессы агропромышленного производственного цикла связаны с другими звеньями цепочки создания стоимости в сложных высокоавтоматизированных производственных и логистических цепочках, охватывающих оптовые и розничные торговые компании, логистику, производителей сельскохозяйственной продукции и их поставщиков. Такие сети могут снизить себестоимость и розничные цены на продукты питания, а также необходимость в рго операциях и возможностях сбыта. Цифровизация цепочек поставок и создания стоимости, развитие цифровых платформ, объединяющих участников агроэкосистемы, приводят к использованию блокчейна.

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ РАЗВИТИЕ / AGRICULTURAL DEVELOPMENT

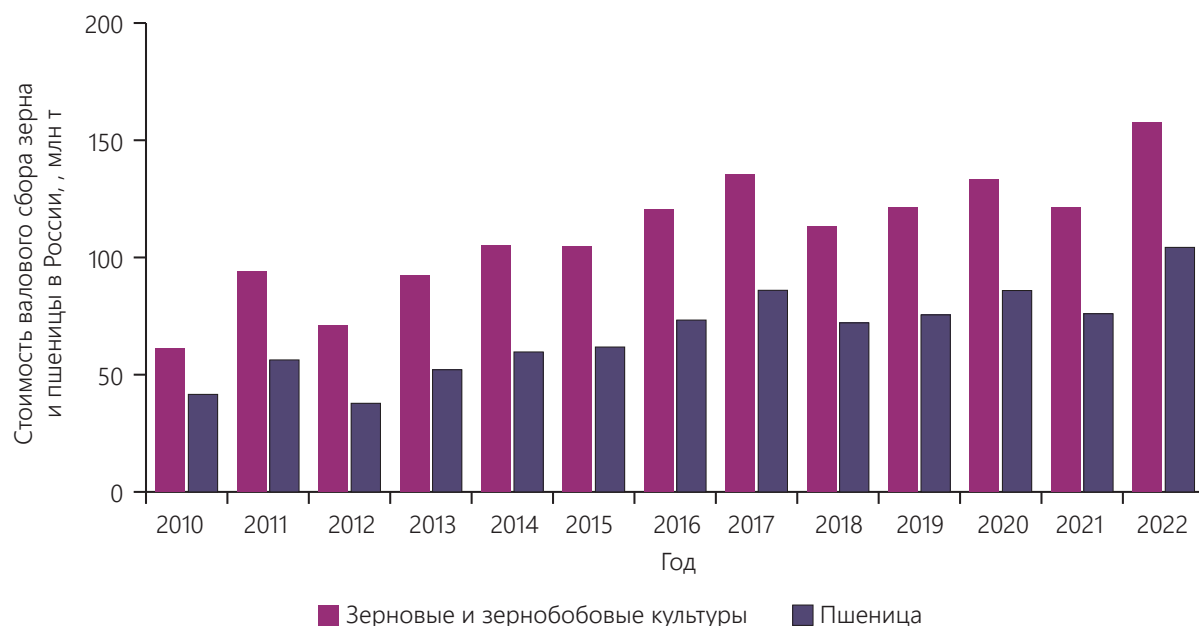
Поскольку существует множество опросов, посвященных современным информационным технологиям и их внедрению, необходимо объяснить, почему этот опрос может быть полезен. Основная цель настоящего исследования – обобщить текущее положение интеллектуальных сельскохозяйственных технологий в литературе, опубликованной на русском языке.

Причина интереса к таким публикациям основана на быстром росте сельского хозяйства и производства продуктов питания в Российской Федерации (далее – РФ, Россия). В то время как в период с 2012 г. по 2016 г. экспорт сельскохозяйственной продукции составлял около 20 млрд долл. США в год, в 2020 г. он вырос до 30 млрд долл. США. В 2021 г. он равнялся 37,1 млрд долл. США, в 2022 г. – 41,6 млрд долл. США. В структуре экспорта почти треть приходится на зерно, 20 % – на масложировую продукцию, 18 % – на рыбу и морепродукты.

Агропромышленный комплекс России в настоящее время активно развивается. Значительный рост демонстрирует сельскохозяйственное производство. По экспорту пшеницы страна является мировым лидером с 2016 г., несмотря на то что в 1990-х гг. она была крупнейшим импортером в мире. С 2021 г. Россия остается на первом месте в мире по экспорту зерна, занимая 5 % мирового рынка и 20 % мирового рынка пшеницы. Объемы экспорта зерна и пшеничной продукции показаны на рис. 1 и в таблице.

Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» была утверждена в 2017 г., а Национальный проект «Цифровая экономика» действует с 2019 г. Он предполагает трансформацию приоритетных секторов экономики и социальной сферы, в том числе сельское хозяйство, путем внедрения цифровых технологий и платформенных решений. Он включает такие федеральные проекты, как «Цифровые технологии» и «Искусственный интеллект». Основной целью цифровизации сельского хозяйства является обеспечение стабильного роста производительности при одновременном снижении затрат и энергопотребления, повышение эффективности использования земель, снижение производственных издержек и увеличение добавленной стоимости, повышение качества и оперативности принятия управленческих решений,

а также улучшение условий труда и повышение престижа сельскохозяйственных профессий. Активное внедрение цифровых технологий является одним из ключевых факторов повышения конкурентоспособности агропромышленного комплекса, что позволяет обеспечить высокие темпы развития производства, увеличение занятости и мотивации персонала к работе в сельском хозяйстве [Candila et al., 2021; Saqib et al., 2021; Yumashev, Mikhaylov, 2020].



Источник¹ / Source¹

Рис. 1. Валовой сбор в РФ с 2010 г. по 2022 г.
Fig. 1. Gross collection in Russia from 2010 to 2022

Таблица. Экспорт продукции растениеводства

Table. Export of crop production

Годы	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Экспорт зерна, млн т	14	18,8	23,2	19,6	30,7	31,6	44,5	56,2	56,2	40,5	57,5	43,1	60,8
Экспорт пшеницы, млн т	11,9	15,2	16,1	13,8	22,2	21,2	25,3	32,8	43,9	31,8	38,3	32,9	46,7

Источник² / Source²

Повышенное внимание Правительства РФ к развитию цифровых технологий основано не только на стремлении повысить эффективность сельскохозяйственного производства, но и на необходимости сокращения технологического разрыва между Россией и западными странами, обеспечивающего формирование цифрового сельского хозяйства. После принятия Национальной программы в 2017 г. количество публикаций, посвященных проблемам и достижениям в области цифровизации сельского хозяйства, значительно увеличилось. В связи с отсутствием какого-либо опроса с публикациями на русском языке в области современного сельского хозяйства настоящее исследование можно рассматривать как попытку преодоления этого разрыва [Náñez Alonso et al., 2021; Fadeyi et al., 2019; Guidi et al., 2020].

Россия становится крупным экспортером зерна в отличие от Европы, которая является его импортером. Россия и другие страны бывшего Советского Союза за пределами Европейского союза (далее – ЕС, Евросоюз) отличаются наличием крупных корпоративных ферм, высокой производительностью фермерских

¹ Федеральная служба государственной статистики. Бюллетени о состоянии сельского хозяйства. Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277> (дата обращения: 31.07.2024).

² Там же.

хозяйств при низком разрыве в урожайности, приближаясь по этому показателю к Новому Свету и Европе. В то же время Европа характеризуется малыми и средними фермами, современным сельским хозяйством и, следовательно, высокой производительностью фермерских хозяйств при небольшом разрыве в урожайности, но с субсидируемым сельским хозяйством, а также усиливающимся регулированием сельского хозяйства по экологическим причинам. Страны ЕС проводят общую сельскохозяйственную политику и реализуют общие проекты. В частности, в Евросоюзе действует программа Общей сельскохозяйственной политики (далее – CAP), развивающая органическое земледелие с целью сохранения окружающей среды (последнее реализуется, например, в Польше в рамках Программы). Существуют обзоры общих проектов развития сельского хозяйства, реализованных в ЕС [Siddique et al., 2023; Jia, Li, 2023; Benhamed et al., 2023].

Далее подробнее рассмотрим технический прогресс в Польше и Латвии. Эти страны выбраны в качестве подходящих примеров, потому что они являются соседями России и Белоруссии в Евросоюзе, в то время как одна из них была частью Советского Союза, а другая – нет. В последние годы количество ферм резко сократилось во всех странах ЕС, особенно в Польше. Фермы становятся все больше, что часто приводит к повышению производительности. Ожидается, что эта тенденция сохранится. До 1989 г. индивидуальное и мелкое фермерство традиционно было нормой в Польше, в то время как в других странах Балтии, включая часть России и Латвии, многие мелкие фермерские хозяйства были объединены в крупные коллективные хозяйства. Хотя сельское хозяйство на Балтийском побережье сегодня работает в относительно схожих рыночных условиях, наследие различных исторических путей все еще можно увидеть в резких различиях в распределении размеров ферм по всему Евросоюзу.

Проведен систематический обзор использования моделей ведения сельского хозяйства для оценки воздействия политики на сельское хозяйство в Европейском союзе. Определены модели ферм, и показано, что ближайшие к России страны ЕС, такие как Латвия и Польша, используют гораздо меньше различных моделей ферм (помимо четырех распространенных моделей, только одна была идентифицирована в Латвии и четыре – в Польше) по сравнению с несколькими десятками в западноевропейских странах. Количество публикаций, посвященных исследованиям в области сельского хозяйства, в этих странах было небольшим.

Проанализирован технический прогресс в польском сельском хозяйстве в контексте реализации концепции устойчивого развития. Многие фермы модернизируются за счет инвестиций, таких как внедрение энергосберегающих технологий производства или использование возобновляемых источников энергии, в частности, биогазовых установок. Рассмотрено использование CAP в Польше с учетом внедрения биоэкономики, которая обеспечивает ресурсосберегающие и устойчивые модели производства биомассы.

Обзор стратегий устойчивого развития малых фермерских хозяйств, реализованных в пяти регионах Польши и Латвии, показывает, что средний размер малых фермерских хозяйств в этих регионах был схожим, за исключением одного региона Латвии, где он был значительно выше.

Проблемы, с которыми сталкиваются фермеры и их стратегии устойчивого развития, подразделяются на следующие категории:

1) экономические потрясения – волатильность цен, искаженные условия торговли (включая российское торговое эмбарго), нехватка финансовых ресурсов (в Польше крайняя фрагментация сельскохозяйственных угодий приводит к лишению мелких фермерских хозяйств возможности получать прямые платежи, поскольку участки слишком малы, чтобы получать государственную поддержку), ограничительные правительственные постановления;

2) социальные потрясения – старение и ухудшающееся состояние здоровья населения (хотя Польша занимает лучшее положение в ЕС с точки зрения возрастной структуры руководителей фермерских хозяйств), ограниченные перспективы преемственности, депопуляция, изменение потребительских привычек;

3) нарушения состояния окружающей среды – неблагоприятные погодные условия, угрозы здоровью животных, нерациональные методы ведения сельского хозяйства.

Все вышеупомянутые серьезные нарушения являются общими для обеих стран, что указывает на то, что мелкие фермерские хозяйства сталкиваются с общими проблемами независимо от размера государства, хотя и с учетом общих политических, экономических, географических и климатических факторов в обеих экономиках.

Определены следующие стратегии устойчивого развития:

- зависимость от государственной поддержки (большинство опрошенных хозяйств в Польше и Латвии указали, что они получают поддержку ЕС);
- уход в подполье, диверсификация (в польских малых хозяйствах менее одной пятой получают доход только от сельского хозяйства);
- перепрофилирование и совершенствование технологий (это не обязательно передовые и высокотехнологичные решения – многие малые хозяйства не могут позволить себе крупные инвестиции и используют возможности, предоставляемые привлеченным проектным финансированием, для приобретения необходимой техники и сельскохозяйственного оборудования);
- расстановка приоритетов;
- аутсорсинг;
- индивидуальное обучение (например, овладение навыками использовать компьютеры и более совершенные программные средства);
- неформальное сотрудничество и обращение за советом.

В Латвии они в основном полагались на неформальные советы коллег и онлайн-ресурсы, обращались за личной консультацией к профессионалам по конкретным вопросам, в Польше используются государственные службы распространения информации.

Латвийские фермеры используют различные области «точного» земледелия: «точное» растениеводство, «точное» животноводство, «точное» садоводство, «точное» пчеловодство, «точное» тепличное хозяйство и «точное» выращивание ягод (клюквы). Технология такого земледелия в независимой Латвии появилась в 2000-х гг. в основном в крупных хозяйствах площадью более 1 тыс. га. Фермеры сосредоточились на анализе почвы и составлении карт урожайности. В последующие годы начали использоваться карты удобрений и различные технологии внесения.

В стране небольшие фермерские хозяйства площадью 10–19,9 га составляют наибольшую долю в структуре сельскохозяйственных угодий по размеру фермы. В 2015 г. небольшие фермы с одной–пятью коровами составляли 77 % всех ферм. Используются в основном импортные датчики и программное обеспечение (из Германии и Норвегии), полевые роботы и дроны (разработанные Швецией, Нидерландами и Германией), хотя Латвия проводит собственные научные исследования в области «точного» земледелия, включая мониторинг урожайности и сорняков, экологически безопасную сушку зерна, влияние параметров плуга на эффективность вспашки, влияние влажности почвы на потребление энергии в процессе вспашки. В ближайшем будущем планируется развивать данные технологии в малых и средних хозяйствах.

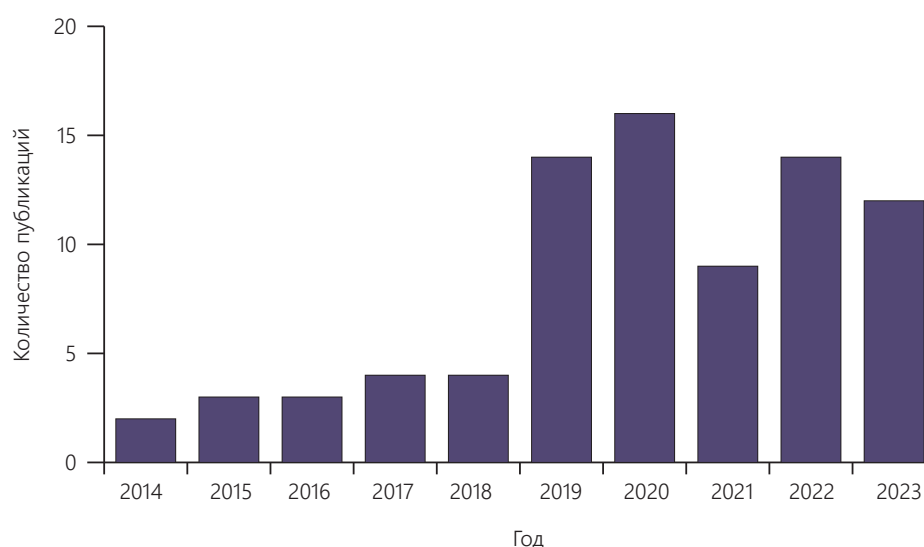
Внедрение цифрового сельского хозяйства в России сталкивается со следующими трудностями:

- нехватка сельскохозяйственной техники из-за слабого развития механизированных технологий;
- низкий уровень внедрения точного земледелия из-за отсутствия опыта работы с этими технологиями у большинства сельскохозяйственных предприятий;
- недостаточное количество ведущих российских компаний сферы информационных технологий (далее – ИТ), подобных Amazon, Apple, Google, IBM, Intel, Microsoft и др., ослабляет потенциал прорыва в создании и развитии таких революционных технологий, как облачные платформы, блокчейн, искусственный интеллект и роботы.

Особенности отечественных сельскохозяйственных предприятий, усложняющие процесс их цифровизации, заключаются в том, что вычислительные и информационные ресурсы географически распределены, при этом сильно локализованы и изменчивы. Распространенность сети «Интернет» (далее – интернет) и других средств связи в сельской местности остается относительно низкой, что недостаточно для развития ИТ-инфраструктуры для распределенных систем управления сельскохозяйственным производством. В некоторых публикациях отмечается нехватка специалистов, обеспечивающих работу баз данных таких систем и эффективных алгоритмов для сценариев управления (устройствами, установками и процессами). Все эти особенности приводят к тому, что менее 8–10 % ферм в России в настоящее время используют цифровые платформы. Помимо географической удаленности сельскохозяйственных предприятий, специфика страны определяется наличием многочисленных мелких фермерских хозяйств и крестьянских дворов наряду с крупными агрохолдингами. Последние имеют большие возможности для цифровизации и автоматизации сельскохозяйственного производства.

ВАЖНОСТЬ Е-МЕНЕДЖМЕНТА / IMPORTANCE OF E-MANAGEMENT

Настоящее исследование было проведено путем изучения существующих научных статей. В обзор включено большинство исследований в научной электронной библиотеке SCOPUS. Мы использовали ключевые слова «облачные технологии» в разделе «Сельское и лесное хозяйство» электронной библиотеки eLibrary. В общей сложности в результате первоначального поиска были найдены 431 публикация, представляющая потенциальный интерес, и их названия отобраны на основе контекста исследования [Podhorsky, 2023; Jabłczyńska et al., 2023; Nerem, Gaur, 2023; Sarkodie et al., 2023]. В частности, были исключены публикации, посвященные образованию фермеров. Из 431 публикации осталось 87, из которых рассмотрены с аннотациями и текстами. После этого удалены еще 6 статей, которые не были связаны с исследованиями в России, Китае или Белоруссии. Количество рассмотренных работ на русском языке за год представлено на рис. 2. Из отобранных статей только три опубликованы на английском языке, в то время как остальные – на русском.



Источник³ / Source³

Рис. 2. Распределение рецензируемых работ по годам за период 2014–2023 гг.
Fig. 2. Distribution of peer-reviewed papers by year for the period of 2014–2023

Несмотря на то что с точки зрения уровня сельскохозяйственного производства в России облачными сервисами пользовались 17,8 % сельхозтоваропроизводителей, Интернетом вещей – 11,6 %, технологиями искусственного интеллекта – 2,2%, около 5 % сельхозтоваропроизводителей используют новейшие средства роботизации, чуть более 40 % сельскохозяйственных организаций работают с системами электронного документооборота, а с обучающими программами – не более 7 % [Wang et al., 2021; Han et al., 2019; Thuy and Khai, 2020; Li et al., 2019].

В 2021 г. в России 10,5 % домохозяйств использовали те или иные цифровые технологии (в том числе 10,4 % организаций, занимающихся выращиванием однолетних культур, и 9,3 % организаций, занимающихся животноводством), в то время как в Белоруссии 10 % пахотных земель обрабатывается с использованием цифровых технологий. К основным сквозным цифровым технологиям, используемым в сельском хозяйстве, относятся облачные технологии и геоинформационные системы, технологии сбора, обработки и анализа больших данных.

Внедрение и использование цифровых технологий в сельскохозяйственном секторе является дорогостоящим процессом, отнимающим много времени. Затраты, необходимые для масштабирования и использования таких технологий в сельском хозяйстве, лесном хозяйстве, охоте, рыболовстве и рыбоводстве, включают следующие части: информационная безопасность; приобретение цифрового оборудования, а также модернизация и техническое обслуживание; приобретение программного обеспечения, его адаптация и модификация; обучение сотрудников использованию цифровых технологий и оплата телекоммуникационных услуг; приобретение компьютеров, оргтехники и средств связи; оплата доступа в интернет.

³ Scopus. Режим доступа: <https://scopus.com> (дата обращения: 31.07.2024).

Основой использования современных информационных технологий являются технологии облачных и туманных вычислений. Рассмотрены рынки облачных вычислений в России и за рубежом, перечислены лидеры рынка облачных сервисов. В 2013 г. на рынке программного обеспечения наблюдался резкий спад, в то время как объем транзакций на рынке облачных вычислений продолжал увеличиваться, что свидетельствует о повышении интереса клиентов к переносу своих данных в облачные хранилища и использованию программного обеспечения из облака по SaaS-модели.

Проанализированы типы и модели облачных сервисов, представленных на отечественном рынке, основные тенденции и перспективы развития российского рынка облачных вычислений. Часто используемой моделью доступа к облачным технологиям является SaaS-модель, в то время как наибольший рост демонстрируют цифровые платформы в агропромышленном комплексе, реализованные на PaaS-технологиях.

Сформулирован ряд положений и рекомендаций по цифровизации сельского хозяйства, вытекающих из изученного опыта стран ЕС. Особого внимания требует использование цифровых технологий фермерами и мелкими производителями, поскольку они являются наиболее уязвимым звеном в цифровой трансформации сельскохозяйственного бизнеса. Необходимо сократить цифровой разрыв между крупными и средними производителями и расширить обучение фермеров лучшим практикам цифровизации с использованием онлайн-ресурсов и платформ.

Следует отметить, что в прежние годы статьи были посвящены анализу и внедрению западных технологий и мирового опыта, также предлагалось адаптировать и внедрять западные облачные платформы и информационные системы на российских сельскохозяйственных предприятиях. В последние два года акцент делался на ускорении развития России с использованием облачных технологий и создании облачных центров обработки данных в стране для обеспечения продовольственной безопасности и повышения конкурентоспособности своей сельскохозяйственной продукции [An et al., 2024; Mikhaylov et al., 2023; Moiseev et al., 2023].

Важными составляющими развития агропромышленного комплекса являются разработка и использование автоматизированных информационных систем для информационной поддержки принятия решений на всех этапах производственного процесса. Эти системы представляют цифровую платформу, состоящую из программного и аппаратного обеспечения, устройств и специализированных профессиональных информационных систем. Целями цифровой платформы являются сбор первичной информации из окружающей среды, ее унификация и дальнейшая разработка цифровых стандартов для информационных ресурсов. Максимальная эффективность цифровизации производства достигается за счет использования комплексных технологий, методов работы с большими данными и облачных сервисов, поскольку в этом случае информация становится доступной предприятиям различного размера, а не только отдельным крупным компаниям. Авторы ссылок указывают на необходимость унификации управления сельскохозяйственными предприятиями на федеральном и транснациональном уровнях, предпринимались многочисленные попытки разработать соответствующие цифровые платформы. Создана эталонная модель сельского хозяйства, состоящая из унифицированных баз первичной и технологической учетной информации, типовых сайтов предприятий с облачными хранилищами на базе мощных систем управления базами данных.

С целью разработки модели формирования оптимальной цифровой платформы в агропромышленном комплексе выделен ряд облачных цифровых подплатформ, общих для большинства сельскохозяйственных организаций (таких как сервис сбора и хранения оперативной первичной учетной информации в единой базе данных, ведение единой базы данных технологического учета, прикладной сервис, представляющий программную реализацию задач функционального контроля с единым описанием алгоритмов).

ПЕРСПЕКТИВЫ Е-МЕНЕДЖМЕНТА / PROSPECTS OF E-MANAGEMENT

Министерством сельского хозяйства РФ разработаны и внедряются следующие информационные системы [Qin et al., 2020; Tang et al., 2019; Yang et al., 2020; Jung et al., 2019; Chicarino et al., 2020]:

- Федеральная государственная информационная система учета и регистрации тракторов, самоходных транспортных средств и прицепов;
- Система мониторинга и прогнозирования продовольственной безопасности РФ;
- Комплексная информационная система сбора и обработки бухгалтерской и специализированной отчетности сельскохозяйственных товаропроизводителей, формирования сводных отчетов, мониторинга, учета,

контроля и анализа субсидий на поддержку агропромышленного комплекса (автоматическая идентификационная система (далее – АИС) «Субсидии сельскому хозяйству»);

- Единая федеральная информационная система о землях сельскохозяйственного назначения;
- Государственная информационная система «Информационно-аналитическая система оперативного мониторинга и оценки рисков сельскохозяйственного производства. Состояние и риски научно-технического обеспечения развития сельского хозяйства»;
- Федеральная государственная информационная система прослеживаемости зерна и продуктов его переработки (ФНИ «Зерно»);
- Федеральная государственная информационная система электронной ветеринарной сертификации «Меркурий».

В рамках реализации государственной программы развития сельскохозяйственного бизнеса в Китае или Белоруссии разработаны и реализованы следующие проекты:

- национальная АИС для формирования, ведения и использования единого реестра сортов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию на территориях государств-членов Евразийской экономической комиссии;
- АИС «Государственный техномониторинг» для сбора, накопления и обработки информации о государственной регистрации тракторов, прицепов к ним и самоходных машин, проведения государственного технического осмотра;
- АИС «Мониторинг технического обслуживания доильных залов на молочных комплексах»;
- база данных и информационно-поисковая система Министерства сельского хозяйства РФ;
- машинно-тракторный парк;
- государственная информационная система «АЙТС» идентификации, регистрации, прослеживаемости сельскохозяйственных животных, идентификации и прослеживаемости продукции животноводства.

Во всех случаях при разработке АИС облачные дата-центры могут использоваться в качестве хранилища данных для анализа и прогнозирования на основе доступной информации [Zhang, 2020; Mikhaylov, 2022; An et al., 2020; Mikhaylov, 2021].

Наиболее перспективным является использование гибридной модели облачного хранилища и локальной базы данных. Информация накапливается в фермерских базах, а затем экспортируется в специальные облачные хранилища, где консолидируется. Сводные таблицы, ответы на запросы пользователей и диаграммы, полученные из общей базы, могут использоваться для мониторинга состояния ферм в регионе и эффективного управления их деятельностью. В Иркутском государственном аграрном университете был разработан подобный проект хранилища данных с использованием облачных технологий для системы управления в Министерстве сельского хозяйства Иркутской области – Многофункциональная облачная платформа «Умный фермер 4.0», разработанная для малого бизнеса и фермерских хозяйств. Созданы приложения «Агропромышленный кластер», «Оптимизация использования земельных ресурсов в регионе», «Эколого-математическое моделирование производства продуктов питания», «Засуха», «Природные стихии», «Управление рисками планов сельскохозяйственного производства», «Моделирование биопродуктивности сельскохозяйственных культур» и «Планирование агротехнологических операций». Предлагается использовать «Почту.Ru», то есть облачные решения как платформу облачного хранилища для проекта.

Рассмотрены Системы управления распределением воды на межхозяйственных ирригационных системах. Проанализированы процессы проектирования и эксплуатации ирригационных систем. Существует необходимость сосредоточения программного обеспечения на мобильных устройствах, в развитии облачных сервисов и методов обработки больших объемов данных. Разработаны модели, алгоритмы и процедуры управления распределением воды в межхозяйственных ирригационных системах, обеспечивающие гарантированное справедливое распределение воды на основе принципов устойчивости и равномерности водоснабжения, минимизации непродуктивного водопотребления и ведения объективной статистики по широкому спектру показателей качества управления. Работа сосредоточена на унификации ирригационных систем путем разработки системы поддержки принятия управленческих решений (DS). Установлено преимущество использования веб-облачной технологии, которая предоставляет пользователю ресурсы в режиме онлайн-сервиса и в качестве программной платформы для DSS. На основе анализа предложений ведущих компаний в части

сервисов облачных технологий разработана DSS для распределения воды на базе сервисов Google [Goodell, Goutte, 2021; Grobys, Huynh, 2021; Hamill et al., 2021; Hasan et al., 2021].

Предложена концептуальная модель промышленного Интернета вещей, в которой облачные вычисления выполняются посредством распределенных вычислений с использованием технологии блокчейн. Применение такого подхода позволит в дальнейшем повысить эффективность работы предприятия за счет снижения затрат на использование облачных сервисов при одновременном повышении надежности технологических процессов и информационной безопасности.

Единая цифровая платформа для сельскохозяйственного производства может быть использована в логистике в качестве цифрового инструмента для отслеживания продукции. Предложена математическая модель цифровой логистической платформы, которая обеспечит отслеживание груза в режиме реального времени, снизит трудоемкость процесса и повысит доверие между участниками цепочки поставок, что важно в условиях санкций. Использование технологий облачной платформы в этой цепочке предоставит возможность перейти к прямым продажам, когда управление доставкой продукции осуществляется посредством автоматического обмена информацией между участниками цепочки поставок через облачный сервис при минимизации использования складской и логистической инфраструктуры оптовых посредников. Введение цифровой логистической платформы позволит наиболее эффективно внедрять технологии смарт-контрактов, искусственного интеллекта и распределенных реестров в логистике.

Облачный учет практически ничем не отличается от настольного. Экономисты отмечают, что результатом использования облачных технологий в бухгалтерском учете является снижение затрат на 50–70 % из-за того, что теперь нет необходимости приобретать дорогостоящие основные средства и нематериальные активы. Преимуществами облачной бухгалтерии являются аренда программ без приобретения лицензий, отсутствие необходимости приобретать дорогостоящее оборудование, мобильность, в то время как недостатками выступают сбои и ошибки в системе, потеря доступа, риск, связанный с конфиденциальностью данных, и сложность выбора надежного провайдера.

Сегодня на рынке существует множество инструментов для автоматизации бухгалтерского учета. Подробно рассмотрены некоторые из них, сопоставлена стоимость ведущих сервисов. Проиллюстрированы особенности и основные преимущества текущих облачных сервисов на отечественном рынке. При проведении экономических исследований цифровизации в сельском хозяйстве в России, как правило, используют средства на основе «1С: Предприятия» на платформе.

Выделены особенности применения программ автоматизации бухгалтерского учета в сельскохозяйственных организациях. На примере аграрного сектора Удмуртии показано влияние автоматизации бухгалтерского учета на эффективность производства.

Внедрение программного обеспечения в 15 региональных управлениях сельского хозяйства Ставропольского края показало, что благодаря его использованию были снижены трудозатраты, связанные с консолидацией и анализом данных. В большинстве случаев использование облачных технологий хранения данных экономически целесообразны даже для небольших сельскохозяйственных предприятий, поскольку текущие цены большинства провайдеров публичных облаков невелики, хотя в каждом конкретном случае следует проводить экономический анализ затрат компании на внедрение и использование таких технологий. Общая стоимость аренды облачного хранилища значительно ниже, чем стоимость внедрения собственной системы хранения данных.

Сервисные инфраструктуры развертываются на основе «Mail.ru – Платформа Облачных решений» компании Mail.RuLLC и поставляются в соответствии с моделью SaaS. Апробация программного обеспечения проводилась в животноводческих хозяйствах Ставропольского края. Разработано программное обеспечение для учета продуктивности животных. Апробация проведена на баранах породы русский мясной меринос и телятах черно-пестрой породы. Систематизированы данные о росте и развитии животных при применении пробиотической кормовой добавки Диаретин-S. Установлено, что применение добавки Диаретин-S благотворно влияет на рост и развитие молодняка и снижает возникновение желудочно-кишечных расстройств: у баранов в количестве 25–45 г/гол., у телят – 35–70 г/гол.

Обоснована структура экспертной информационной системы управления сельскохозяйственной техникой, обеспечивающая наибольшую эффективность при наименьших затратах на внедрение. Выделена типичная структура облачной платформы для обработки и анализа данных дистанционного зондирования, 70 уровней

которой имеют свой собственный характер функционирования, автономность, стандартизацию и горизонтальную масштабируемость. Приведены выгоды для сельского хозяйства от использования облачных технологий, связанные с созданием карт и планов на основе фотограмметрических изображений.

Предлагается создать Единую территориально распределенную информационную систему дистанционного зондирования земли с интеграцией всех информационных ресурсов в единое геоинформационное пространство. После расшифровки информация должна попадать в облачную геоинформационную систему, которая объединяет единую базу технологического учета, единую базу первичного учета и базу данных всех материальных, интеллектуальных и человеческих ресурсов предприятий и агропромышленного комплекса в целом. Результирующая система представляет единую систему административного управления, которая включает данные о земельных участках и их землепользователях [Corbet et al., 2020; Dowling, 2021].

Цифровое видеонаблюдение разработано для контроля географически распределенных объектов сельскохозяйственного производства. Предложены общие методологические принципы проектирования облачного видеонаблюдения и концепции интеграции видео и облака. Рассмотрена проблема оптимального выбора сельскохозяйственной техники. Разработана и описана организационная структура системы как облачного интернет-сервиса. Система позволяет учитывать не только расстояние между начальной и конечной точками маршрута, но и качество дорог, затраты на топливо, время ремонта, износ и временные задержки в производственном процессе. Дано подробное описание архитектуры системы и взаимодействия ее элементов. Серверная часть системы имеет объектно-ориентированную архитектуру, которая позволяет гибко расширять и изменять функциональность приложения. Пользовательский интерфейс используется для ввода данных и отображения маршрутов. Дополнительными элементами системы являются сервис GPS/ГЛОНАСС и сервер «Яндекс.Карты» [Mikhaylov, 2023; Metaxas et al., 2023; Srbová et al., 2023].

Для решения задач управления молочными фермами и удаленного контроля качества молока предлагается использовать технологии IoT и cloud. На сервере облачной платформы размещены базы данных и знаний, решатель и веб-сайт. Проведен анализ использования различных облачных сервисов: AWS IoT, Google Cloud IoT и Microsoft Azure IoT Suite. Разработка систем удаленного мониторинга ведется и в пчеловодстве. Облако Thing-Speak cloud использовалось для загрузки данных и последующей обработки. Важнейшими аспектами предпринимательской деятельности руководителей пчеловодческих хозяйств являются поддержание биопродуктивности пчел, повышение рентабельности производства за счет снижения себестоимости, сокращение производственного цикла от посадочного материала до получения товарной продукции [Häusler, Xia, 2021; Hoang, Baur, 2021; Horky et al., 2022]. С помощью «умных» технологий рыбоводные хозяйства смогут улучшить окружающую среду, сохранить здоровье рыбы, снизить производственные затраты, повысить рентабельность (ускорить процесс выращивания рыбы до 15 %, сэкономить до 20 % на кормах).

Одним из наиболее перспективных направлений повышения эффективности планирования сельскохозяйственного производства является использование интеллектуальных технологий для систематизации агротехнологических знаний путем создания специализированного программного комплекса в целях получения, первичной обработки, формализации, хранения и представления знаний в области растениеводства. Подробно рассмотрена структура базы данных и содержащаяся в ней атрибутивная информация, которая необходима для принятия решений при производстве продукции растениеводства. Приведена концептуальная схема взаимодействия между базой данных и базой знаний. Представление знаний для принятия решений предлагается отображать в виде производственных структур. В таких конструкциях можно ссылаться на математические модели, встроенные в базу знаний в качестве процедур для вычислений или представленные в виде отдельных программных пакетов. В базе знаний также могут храниться оценки агротехнологических параметров, полученные экспертами, например, оценки влияния своевременности проведения посевных работ на различные производственные параметры. Кроме того, возможно использовать облачные технологии и данные дистанционного зондирования при одновременном упрощении интеграции с географическими информационными системами для графического отображения данных о сельскохозяйственных производителях.

Цифровая платформа для регионального растениеводства позволит интегрировать разрозненные данные в единую многофункциональную систему, получать их в режиме реального времени (через облачные сервисы) и формировать образовательную и обучающую составляющие. Основными компонентами цифровой платформы являются: модуль облака данных (база данных), модуль фильтрации, сортировки и анализа

данных, модуль инновационного проекта, модуль профессиональных компетенций и модуль создания приложений. Модуль облачных данных (база данных) предназначен для сбора (накопления), агрегирования и хранения данных о растениеводстве в Новгородской области.

Проводятся исследования возможностей увеличения производства зерна с использованием информационных систем выбора агротехнологий с учетом агроэкологических, почвенно-климатических и производственных условий сельхозтоваропроизводителей. Оценка информационных систем, разработанных для фермерских хозяйств РФ, проводилась по следующим показателям: факторы, ограничивающие производство зерна; наличие критериев оценки агротехнологий; тип информационной системы. В качестве факторов, ограничивающих производство зерна, определены агроэкологические, почвенно-климатические и производственные условия, а также уровень интенсификации. По результатам исследования наиболее перспективными признаны системы, основанные на экономико-математических моделях и реализованные в виде веб-приложений с использованием облачных технологий [Chen et al., 2022; Chirtoaca et al., 2020].

Методология предусматривает использование локальной DSS и облачной базы знаний (далее – БЗЗ). Аналитическая автоматизированная система управления сельскохозяйственными технологиями размещена в облачном центре обработки данных, формируется БЗЗ. КБ формируется на основе алгоритма стратегического управления путем аналитического решения задачи для множества различных условий принятия решений. Каждый набор таких условий и полученных решений представляет элементарную запись в КБ. Эта база данных передается в локальную DSS. Для выбора наилучшего варианта из базы данных используется метод распознавания образов. Местная DSS выбирает из полученных КБ наиболее близкие оптимальные программы внесения минеральных удобрений и орошения в период вегетации. Для выбора оптимальной даты уборки кормов из многолетних трав в местной DSS используются два варианта алгоритмов: первый основан на моделях управления, а второй – на методе распознавания образов.

Алгоритмы были протестированы на КБ из 50 случаев для произвольного набора входных данных локальной DSS. Было обнаружено, что в локальной DSS возможны ошибки в принятии решений об оптимальных сроках сбора урожая в пределах ± 2 дней, что связано с ошибками в аппроксимации и идентификации этих моделей. Метод распознавания образов оказался более точным, он обладает большей гибкостью, и его потенциальная точность значительно возрастает с увеличением количества обращений в КБ. Это связано с повышением вероятности возникновения случаев, приближенных к реальным условиям местной DSS. По результатам тестирования методики обоснован метод управления формированием КБ, направленный на снижение потерь оптимальности стратегий, связанных с несовпадением начальных условий на локальной DSS и КБ информационного облака.

Сельскохозяйственное производство требует обработки значительных объемов информации для решения различных управленческих задач. Развитие нейросетевых и облачных технологий делает возможным обработку информации в облаке с предоставлением пользователю доступа к вычислительным мощностям. Разрабатывается облачный сервис SaaS для выявления дефектных участков сельскохозяйственных полей с использованием искусственной нейронной сети (далее – ANN). В настоящем исследовании описаны построение ANN различных моделей, а также инструменты для создания среды для выполнения вычислений в облаке. Нейросетевые вычисления реализованы в облаке с масштабируемой вычислительной мощностью. Обоснован выбор параметров для распознавания проблемных участков мелиорируемых сельскохозяйственных земель. Даны рекомендации по реализации предварительной обработки исходных графических данных, методам обучения построенных ANNs, разработке клиентской и серверной частей системы.

Исследование показало, что нейронные сети способны успешно решать задачу распознавания изображения сельскохозяйственных полей с выявлением дефектных участков различной природы. Рассмотрена интеллектуальная технология формирования системы внесения удобрений, представляющая облачный сервис. Разработана информационно-аналитическая веб-система выбора технологий восстановления и использования земель сельскохозяйственного назначения, позволяющая своевременно принимать научно обоснованные решения по улучшению состояния деградированных сельскохозяйственных ландшафтов. Веб-система включает базу данных, подсистему авторизации пользователей, облачное хранилище данных и подсистему резервного копирования. Также созданы два веб-интерфейса: пользовательский, обеспечивающий доступ к просмотру и поиску информации, и административный. Для каждой записи в базе данных можно получить

общую и подробную информацию об объекте и рекомендуемых технологиях восстановления плодородия почвы, вызвать геоинформационную систему, спутниковые и другие карты нужного объекта, а также просмотреть связанные материалы [Gao et al., 2022; Gao et al., 2023].

Наибольшей эффективности в использовании цифровых технологий можно добиться в искусственных экосистемах, где контролируются условия для роста и высокой продуктивности и имеются необходимые технические средства. Теплица представляет агроэкосистему закрытого типа, процессы в которой строго определяются технологиями выращивания растений с учетом влияния окружающей среды. Предложена модель системы «растение–окружающая среда–ситуация–контроль», позволяющая описывать процессы в теплице на основе экспериментальных данных. Разработана программно-аппаратная система для smart greenhouse, которая позволяет контролировать и управлять ростом растений в течение вегетационного периода с учетом условий окружающей среды. Управляющее устройство генерирует управляющий сигнал на основе правил эксперта и текущей входной информации от датчиков окружающей среды. Обмен данными осуществляется через облачное хранилище данных Blynk, откуда данные отправляются в скрипт MATLAB для машинной обработки, а затем возвращаются на управляющее устройство. Данные мониторинга хранятся в облачном хранилище в течение всего вегетационного периода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ / CONCLUSION

Сельское хозяйство является основой мировой экономики, поскольку имеет стратегическое значение для обеспечения продовольственной безопасности каждой страны. Необходимость удовлетворения постоянно растущего спроса на продовольствие для достижения «нулевого уровня голода» приводит к переходу от традиционных методов ведения сельского хозяйства к разумным. Сельское хозяйство 4.0 как интеллектуальное сельское хозяйство ассоциируется с современными технологиями, такими как большие данные, машинное обучение, глубокое обучение, искусственный интеллект, Интернет вещей, блокчейн, робототехника и автономные системы, облачные вычисления, киберфизические системы и цифровые двойники.

Особенности сельскохозяйственного производства в России, усложняющие процесс его цифровизации, заключаются в том, что вычислительные и информационные ресурсы географически распределены, при этом сильно локализованы и изменчивы. Проникновение интернета и других средств связи в сельскую местность остается на относительно низком уровне. Традиционно существуют пробелы в образовании сельских работников в области цифровых технологий. Все это приводит к тому, что в настоящее время в России цифровыми платформами пользуются менее 8–10 % фермерских хозяйств.

Цели smart agriculture связаны с необходимостью обеспечения устойчивого сельскохозяйственного производства, с совершенствованием математического моделирования сельскохозяйственного производства и прогнозирования экономических показателей сельскохозяйственного производства. Разработки, описанные в настоящем исследовании, могут быть расширены в будущем, что позволит перейти от управления техническими процессами и оборудованием к управлению прибыльностью всего сельскохозяйственного предприятия и в дополнение к экономическому эффекту повысить престижность работы в сельском хозяйстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- An J., Mikhaylov A., Chang T. Relationship between the popularity of a platform and the price of NFT assets. *Finance Research Letters*. 2024;3(61):105057. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2024.105057>
- An J., Mikhaylov A., Jung S.U. The Strategy of South Korea in the Global Oil Market. *Energies*. 2020;10(13):2491. <https://doi.org/10.3390/en13102491>
- Benhamed A., Messai A.S., El Montasser G. On the Determinants of Bitcoin Returns and Volatility: What We Get from Gets? *Sustainability*, 2023;3(15):1761. <https://doi.org/10.3390/su15031761>
- Bouri E., Cepni O., Gabauer D. et al. Return connectedness across asset classes around the COVID-19 outbreak. *International Review of Financial Analysis*. 2021;73:101646. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2020.101646>
- Bouri E., Saeed T., Vo X.V. et al. Quantile connectedness in the cryptocurrency market. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*. 2021;71:101302. <https://doi.org/10.1016/j.intfin.2021.101302>

- Candila V., Maximov D., Mikhaylov A. et al.* On the Relationship between Oil and Exchange Rates of Oil-Exporting and Oil-Importing Countries: From the Great Recession Period to the COVID-19 Era. *Energies*. 2021;14(23):8046. <https://doi.org/10.3390/en14238046>
- Chen J., Tang G., Yao J. et al.* Investor Attention and Stock Returns. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*. 2021;2(57):455–484. <https://doi.org/10.1017/s0022109021000090>
- Chicarino V., Albuquerque C., Jesus E. et al.* On the detection of selfish mining and stalker attacks in blockchain networks. *Annals of Telecommunications*. 2020;3-4(75):143–152. <https://doi.org/10.1007/s12243-019-00746-2>
- Chirtoaca D., Ellul J., Azzopardi G.* A Framework for Creating Deployable Smart Contracts for Non-fungible. In: *Tokens on the Ethereum Blockchain: Proceedings of the 2020 IEEE International Conference on Decentralized Applications and Infrastructures (DAPPS)*. 2020. <https://doi.org/10.1109/dapps49028.2020.00012>
- Corbet S., Larkin C., Lucey B.* The contagion effects of the COVID-19 pandemic: Evidence from gold and cryptocurrencies. *Finance Research Letters*. 2020;35:101554. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101554>
- Dowling M.* Fertile LAND: Pricing non-fungible tokens. *Finance Research Letters*. 2021;44:102096. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2021.102096>
- Dowling M.* Is non-fungible token pricing driven by cryptocurrencies? *Finance Research Letters*. 2021;44:102097. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2021.102097>
- Fadeyi O., Krejcar O., Maresova P. et al.* Opinions on Sustainability of Smart Cities in the Context of Energy Challenges Posed by Cryptocurrency Mining. *Sustainability*. 2019;1(12):169. <https://doi.org/10.3390/su12010169>
- Gao X., Li D., Huang W.* Intergenerational education mobility: A machine learning perspective. *World Journal of Vocational Education and Training*. 2023;1(5):1–10. <https://doi.org/10.18488/119.v5i1.3268>
- Gao X., Gu Z., Niu S., Ryu S.* Effects of International Tourist Flow on Startup Financing: Investment Scope and Market Potential Perspectives. *SAGE Open*. 2022;4(12). <https://doi.org/10.1177/21582440221126455>
- Goodell J.W., Goutte S.* Diversifying equity with cryptocurrencies during COVID-19. *International Review of Financial Analysis*. 2021;76:101781. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2021.101781>
- Grobys K., Huynh T.L.D.* When Tether says “JUMP!” Bitcoin asks “How low?” *Finance Research Letters*. 2021;47:102644. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2021.102644>
- Guidi B., Michienzi A., Ricci L.* Steem Blockchain: Mining the Inner Structure of the Graph. *IEEE Access*. 2020;8:210251–210266. <https://doi.org/10.1109/access.2020.3038550>
- Hamill P.A., Li Y., Pantelous A.A. et al.* Was a deterioration in ‘connectedness’ a leading indicator of the European sovereign debt crisis? *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*. 2021;74:101300. <https://doi.org/10.1016/j.intfin.2021.101300>
- Han R., Foutris N., Kotselidis C.* Demystifying Crypto-Mining: Analysis and Optimizations of Memory-Hard In: PoW Algorithms: Proceedings of the 2019 IEEE International Symposium on Performance Analysis of Systems and Software (ISPASS). 2019. <https://doi.org/10.1109/ispas.2019.00011>
- Hasan M., Naeem M.A., Arif M. et al.* Higher moment connectedness in cryptocurrency market. *Journal of Behavioral and Experimental Finance*. 2021;32:100562. <https://doi.org/10.1016/j.jbef.2021.100562>
- Häusler K., Xia H.* Indices on Cryptocurrencies: An Evaluation. *SSRN Electronic Journal*. 2021. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3895083>
- Hoang L.T., Baur D.G.* How Stable Are Stablecoins? *SSRN Electronic Journal*. 2021. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3519225>
- Horky F., Rachel C., Fidrmuc J.* Price determinants of non-fungible tokens in the digital art market. *Finance Research Letters*. 2022;48:103007. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2022.103007>
- Hossain M.S.* What do we know about cryptocurrency? Past, present, future. *China Finance Review International*. 2021;4(11):552–572. <https://doi.org/10.1108/cfri-03-2020-0026>
- Huang W., Gao X.* Forecasting Bitcoin Futures: A Lasso-BMA Two-Step Predictor Selection for Investment and Hedging Strategies. *SAGE Open*. 2023;1(13):215824402311516. <https://doi.org/10.1177/21582440231151652>
- Huang Y., Luk P.* Measuring economic policy uncertainty in China. *China Economic Review*. 2020;59:101367. <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2019.101367>
- Jabłczyńska M., Kosć K., Ryś P. et al.* Energy and cost efficiency of Bitcoin mining endeavor. *PLOS ONE*. 2023;3(18):e0283687. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0283687>

- Jia D., Li Y.* Bounded pool mining and the bounded Bitcoin price. *Finance Research Letters*. 2023;52:103529. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2022.103529>
- Jung E., Le Tilly M., Gehani A. et al.* Data Mining-Based Ethereum Fraud Detection. *Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Blockchain (Blockchain)*. 2019. <https://doi.org/10.1109/blockchain.2019.00042>
- Li J., Li N., Peng J. et al.* Energy consumption of cryptocurrency mining: A study of electricity consumption in mining cryptocurrencies. *Energy*. 2019;168:160–168. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.11.046>
- Mathivanan P., Balaji Ganesh A.* ECG steganography using Base64 encoding and pixel swapping technique. *Multimedia Tools and Applications*. 2023;10(82):14945–14962. <https://doi.org/10.1007/s11042-022-14072-8>
- Mathivanan P., Maran P.* A color image encryption scheme using customized map. *The Imaging Science Journal*. 2023;4(71):343–361. <https://doi.org/10.1080/13682199.2023.2182547>
- Metaxas T., Gallego J. S., Juarez L.* Sustainable urban development and the role of mega-projects: Experts' view about Madrid Nuevo Norte Project. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*. 2023;2(7):2161. <https://doi.org/10.24294/jipd.v7i2.2161>
- Mikhaylov A.* Development of Friedrich von Hayek's theory of private money and economic implications for digital currencies. *Terra Economicus*. 2021;1(19):53–62. <https://doi.org/10.18522/2073-6606-2021-19-1-53-62>
- Mikhaylov A.* Efficiency of renewable energy plants in Russia. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*. 2022;4(94). <https://doi.org/10.1590/0001-376520220191226>
- Mikhaylov A.* Understanding the risks associated with wallets, depository services, trading, lending, and borrowing in the crypto space. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*. 2023;2(7):2223. <https://doi.org/10.24294/jipd.v7i2.2223>
- Mikhaylov A., Dinçer H., Yüksel S.* Analysis of financial development and open innovation oriented fintech potential for emerging economies using an integrated decision-making approach of MF-X-DMA and golden cut bipolar q-ROFSs. *Financial Innovation*. 2023;1(9). <https://doi.org/10.1186/s40854-022-00399-6>
- Mikhaylov A., Dinçer H., Yüksel S. et al.* Bitcoin mempool growth and trading volumes: Integrated approach based on QROF Multi-SWARA and aggregation operators. *Journal of Innovation & Knowledge*. 2023;3(8):100378. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2023.100378>
- Moiseev N., Mikhaylov A., Dinçer H. et al.* Market capitalization shock effects on open innovation models in e-commerce: golden cut q-rung orthopair fuzzy multicriteria decision-making analysis. *Financial Innovation*. 2023;1(9). <https://doi.org/10.1186/s40854-023-00461-x>
- Náñez Alonso S.L., Jorge-Vázquez J., Echarte Fernández M.Á. et al.* Cryptocurrency Mining from an Economic and Environmental Perspective. Analysis of the Most and Least Sustainable Countries. *Energies*. 2021;14(14):4254. <https://doi.org/10.3390/en14144254>
- Nerem R.R., Gaur D.R.* Conditions for advantageous quantum Bitcoin mining. *Blockchain: Research and Applications*. 2023;3(4):100141. <https://doi.org/10.1016/j.bcr.2023.100141>
- Podhorsky A.* Taxing bitcoin: Incentivizing the difficulty adjustment mechanism to reduce electricity usage. *International Review of Financial Analysis*. 2023;86:102493. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2023.102493>
- Qin R., Yuan Y., Wang F.Y.* Optimal Block Withholding Strategies for Blockchain Mining Pools. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*. 2020;3(7):709–717. <https://doi.org/10.1109/tcss.2020.2991097>
- Saqib A., Chan T.H., Mikhaylov A. et al.* Are the Responses of Sectoral Energy Imports Asymmetric to Exchange Rate Volatilities in Pakistan? Evidence From Recent Foreign Exchange Regime. *Frontiers in Energy Research*. 2021;9. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.614463>
- Sarkodie S.A., Amani M.A., Ahmed M.Y. et al.* Assessment of Bitcoin carbon footprint. *Sustainable Horizons*. 2023;7:100060. <https://doi.org/10.1016/j.horiz.2023.100060>
- Siddique I.M., Siddique A.A., Smith E.D. et al.* Assessing the Sustainability of Bitcoin Mining: Comparative Review of Renewable Energy Sources. *Journal of Alternative and Renewable Energy Sources*. 2023;1(10):1–12. <https://doi.org/10.46610/joares.2024.v10i01.001>
- Srbová P., Režňáková M., Tomášková A.* Socially responsible activities and the economic performance of family businesses. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*. 2023;1(7):1958. <https://doi.org/10.24294/jipd.v7i1.1958>
- Tang C., Li C., Yu X. et al.* Cooperative Mining in Blockchain Networks with Zero-Determinant Strategies. *IEEE Transactions on Cybernetics*. 2019;10(50):4544–4549. <https://doi.org/10.1109/tcyb.2019.2915253>
- Thuy N.T.T., Khai L.D.* A fast approach for bitcoin blockchain cryptocurrency mining system. *Integration*. 2020;74:107–114.

- Wang T., Liew S.C., Zhang S.* When blockchain meets AI: Optimal mining strategy achieved by machine learning. *International Journal of Intelligent Systems*. 2021;5(36):2183–2207. <https://doi.org/10.1002/int.22375>
- Yang R., Chang X., Mišić J. et al.* Assessing blockchain selfish mining in an imperfect network: Honest and selfish miner views. *Computers & Security*. 2020;97:101956. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2020.101956>
- Yumashev A., Mikhaylov A.* Development of polymer film coatings with high adhesion to steel alloys and high wear resistance. *Polymer Composites*. 2020;7(41):2875–2880. <https://doi.org/10.1002/pc.25583>
- Zhang J.* Interaction design research based on large data rule mining and blockchain communication technology. *Soft Computing*. 2020;21(24):16593–16604. <https://doi.org/10.1007/s00500-020-04962-0>