



Наталья ЧЕПЛЯНСКАЯ¹, Андрей ЧЕПЛЯНСКИЙ²

¹Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси,
Минск, Республика Беларусь,
e-mail: agrecinst@mail.belpak.by

²Белорусский государственный экономический университет,
Минск, Республика Беларусь,
e-mail: cheplianski@mail.ru

УДК 631.15:338.43:004

<https://doi.org/10.29235/1818-9806-2026-6-49-63>

Цифровая трансформация как фактор нейтрализации природно-климатических рисков и повышения экономической эффективности растениеводства

Проанализировано влияние природно-климатических факторов на развитие растениеводства. Обосновано внедрение высокотехнологичных решений как ключевой путь повышения эффективности отрасли. На основе систематизации мирового опыта предложена классификация современных инструментов цифровизации по функциональному признаку. Детально проанализированы решаемые ими задачи и сферы применения в растениеводстве.

Ключевые слова: цифровизация в растениеводстве, цифровая трансформация, нейтрализация природно-климатических рисков, блокчейн, беспилотные летательные аппараты, интернет вещей, точное земледелие, повышение эффективности растениеводства.

Nataliya CHEPLYANSKAYA¹, Andrey CHEPLYANSKY²

¹Institute of System Researches in the Agroindustrial Complex
of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Republic of Belarus,
e-mail: agrecinst@mail.belpak.by

²Belarus State Economic University,
Minsk, Republic of Belarus,
e-mail: cheplianski@mail.ru

Adaptation of crop production to natural and climatic risks in the context of digital transformation

The impact of natural and climatic factors on the development of crop production is analyzed. The implementation of high-tech solutions is substantiated as a key way to increase the efficiency of the industry. Based on the systematization of foreign experience, a classification of modern digi-

© Чеплянская Н., Чеплянский А., 2026

talization tools by functional criteria is proposed. The tasks they solve and their areas of application in crop production are analyzed in detail.

Keywords: digitalization in crop production, digital transformation, mitigation of natural and climatic risks, blockchain, unmanned aerial vehicles, internet of things, precision agriculture, crop production efficiency improvement.

Введение

В Программе социально-экономического развития Республики Беларусь на 2026–2030 годы цифровая трансформация, наряду с повышением конкурентоспособности и ускорением технологического развития, определена в числе одного из приоритетов государственной политики. Одной из сфер, в которых цифровизация имеет стратегическое значение, является растениеводство. В условиях высокой чувствительности к природно-климатическим факторам она способна минимизировать экзогенные риски, обеспечивая стабильную и прогнозируемую урожайность, задать новые стандарты функционирования сельского хозяйства, способствуя его системной модернизации. Это позволит укрепить позиции сельскохозяйственных производителей Республики Беларусь на высококонкурентном мировом агропродовольственном рынке. В Государственной программе «АПК будущего» на 2026–2030 годы предусмотрена подпрограмма, ориентированная на развитие технологии точного земледелия и цифровую трансформацию АПК. Целевое бюджетное финансирование мероприятий данного направления подчеркивает его стратегическую значимость для государства и обуславливает необходимость изучения и адаптации передового мирового опыта цифровизации в условиях аграрного производства республики.

Материалы и методы

Информационную и нормативно-правовую базу исследования составили законодательные и программные документы Республики Беларусь, аналитические обзоры международных организаций, а также труды отечественных и зарубежных ученых по вопросам цифровой трансформации и эффективного аграрного производства. Использовались методы системного и сравнительного анализа, логических заключений и обобщения.

Основная часть

Сельское хозяйство характеризуется высокой зависимостью от природно-климатических факторов, которые влияют на размещение производства, его отраслевую структуру и объемы продукции. От температуры воздуха, интенсивности осадков, солнечной активности, ветровых условий, частоты возникновения экстремальных погодных явлений зависит урожайность возделываемых культур и продуктивность животных. Ураганы, заморозки, осадки, засухи и обильные паводки способны губительно повлиять на урожай. Природные ка-

таклизмы приводят к существенным колебаниям объемов предложения сельскохозяйственной продукции и продовольствия, что в дальнейшем определяет волатильность цен и динамику доходов товаропроизводителей. При этом географическая специфика таких аномалий обуславливает диспропорции в валовых сборах между регионами. Непредсказуемость рыночной конъюнктуры негативно отражается на устойчивости аграрного сектора, делая его рискованной сферой экономической деятельности [1, с. 178].

Проблема природно-климатического воздействия на сельскохозяйственное производство носит еще и долгосрочный характер. Это выражается в смещении периодов и продолжительности фенологических фаз, изменении потребности в водоснабжении, распространении вредителей и болезней, развитии инвазивных процессов, росте частоты проявления погодных аномалий и др.

В Республике Беларусь изменение климата за последние десятилетия привело к увеличению вегетационного периода и трансформации границ агроклиматических областей. Это соотносится с общемировыми тенденциями, создавая вызовы для продовольственной безопасности.

В соответствии с разработанной в Беларуси Стратегией адаптации сельского хозяйства к изменению климата наиболее вероятный сценарий дальнейшей трансформации климатических условий до 2050 г. состоит в постепенном уменьшении влагообеспеченности в летний период за счет повышения температуры воздуха и транспирации растениями. Около трети территории республики будет находиться в засушливых и слабо засушливых условиях [2, с. 23].

В современных условиях Республика Беларусь находится в зоне рискованного земледелия. По данным за 2020–2024 гг., 66 районов относились к неблагоприятным для производства сельскохозяйственной продукции [3]. На период 2025–2029 гг. их количество сократилось до 65 [4]. За анализируемый временной интервал одни районы были исключены из данного списка (Ивановский, Толочинский, Стародорожский, Дрибинский), другие – добавлены (Малоритский, Лепельский, Новогрудский, Кличевский, Кричевский). Это указывает на то, что почти половина территории Беларуси характеризуется сложными условиями для агропроизводства и ситуация за последние годы существенно не меняется. В Гомельской области находится наибольшее количество неблагоприятных районов, а в Гродненской – наименьшее.

Рискованный характер земледелия в Республике Беларусь обусловлен волатильностью агроклиматических условий, что выражается в нестабильности температурного режима и учащении экстремальных метеоявлений. Необходимо переходить к интенсивному высокотехнологичному производству растениеводческой продукции на основе цифровой трансформации. Это обеспечивает автоматизацию и объективный мониторинг факторов сельскохозяйственного производства, способствует оптимизации ресурсного потенциала организаций и позволяет создать механизм оперативного реагирования на изменения агроэкосистемы. Одновременно решается задача по повышению рентабельности,

снижению антропогенной нагрузки на биосферу и обеспечению устойчивости агропромышленного комплекса к глобальным климатическим вызовам.

Опыт США, Германии, Китая свидетельствует, что цифровая трансформация АПК является безальтернативным сценарием развития, позволяющим вывести сельское хозяйство из категории рискованных отраслей в прогнозируемый высокотехнологичный бизнес. Страны, которые применяют системы искусственного интеллекта и точного земледелия, получают долгосрочное конкурентное преимущество за счет снижения издержек на единицу продукции [5, р. 128].

Комплексный анализ мировой и отечественной практики внедрения высокотехнологичных решений в растениеводстве позволяет систематизировать современные инструменты цифровизации, объединив их в несколько функционально ориентированных групп:

1. *Инструменты дистанционного зондирования и оперативного мониторинга* (беспилотные летательные аппараты (БПЛА), спутники, сенсоры на сельскохозяйственной технике, Интернет вещей (IoT) и др.).

2. *Аналитические системы и программные комплексы управления* (технологии больших данных (Big Data), система поддержки принятия решений (СППР), блокчейн, цифровые двойники (ЦД), облачные сервисы и платформы, искусственный интеллект, геоинформационные системы и др.).

3. *Технологии автоматизации и точного земледелия* (роботизация, системы дифференцированного внесения, агробиотехнологии, средства сберегающей и регенеративной обработки почвы и др.).

Классификация построена по функциональному признаку, что позволяет отнести некоторые технологические решения к различным группам по целевому назначению: обеспечение информационного мониторинга или выполнение непосредственных производственных операций.

Применение беспилотных летательных аппаратов, оснащенных мульти- и гиперспектральными сенсорами, позволяет получать высокоточные данные о состоянии посевов. Ключевым аналитическим показателем, рассчитываемым на основе собранной информации, является нормализованный относительный вегетационный индекс, выступающий объективным индикатором состояния здоровья и плотности биомассы посевов. Применение БПЛА позволяет не только рассчитывать эти индексы и создавать детальные карты неоднородности биомассы, но и своевременно локализовать зоны риска: участки, которые пострадали от дефицита влаги, распространения вредителей, болезней или нехватки азотного питания. Аналитика спектральных данных повышает эффективность принятия производственных решений, давая возможность перейти к дифференцированному внесению удобрений и средств защиты растений, что оптимизирует затраты и минимизирует экологическую нагрузку на почву.

Несмотря на наличие в Республике Беларусь конструкторской базы в области беспилотных технологий, прикладными разработками для аграрной сферы занимаются единичные организации. Доминирующее положение в данном

сегменте сохраняют китайские бренды [6, с. 81]. При имеющемся потенциале для импортозамещения целесообразно развивать и поддерживать на государственном уровне собственное производство сельскохозяйственных БПЛА.

Применение беспилотных летательных аппаратов в растениеводстве дает значительные преимущества, но в то же время не лишено и определенных недостатков (рис. 1).

В сельском хозяйстве датчики прочно утвердились в качестве инструмента повышения урожайности и качества растениеводческой продукции. Сенсоры позволяют проводить мониторинг использования техники, в том числе по нецелевому назначению, контролировать расходование горюче-смазочных материалов и качество выполняемых операций, вести учет рабочего времени, фиксировать намолот урожая и определять урожайность по полям при интеграции бортовых сенсоров со спутниковыми системами [7, с. 17].

Применение в мировой практике растениеводства датчиков для оперативного мониторинга почвенных характеристик позволяет сельхозпроизводителям определять потребность культур в питательных элементах. Это гарантирует точность дозирования и распределения агрохимикатов, что способствует росту урожайности при одновременной минимизации экологической нагрузки на окружающую среду. Использование датчиков становится важным при последующем внесении твердых гранулятов, поскольку именно они обеспечивают интеллектуальное управление потоком и равномерность покрытия почвы [8, с. 131].

В современном растениеводстве Интернет вещей (IoT) выступает интегратором наземных, воздушных и космических методов сбора данных в единую систему. Наземные сенсоры обеспечивают непрерывный мониторинг состояния почвы и микроклимата, передавая локальные параметры в режиме реального времени. Спутники предоставляют параметры вегетации и влагозапасов, в то время как БПЛА проводят детальную мультиспектральную съемку проблемных участков, выявленных в ходе космического мониторинга. Через IoT-платформы данные синхронизируются, позволяя сопоставлять точечные показатели датчиков с картами дистанционного зондирования. В итоге образовывается массив информации, который с помощью искусственного интеллекта используется в формировании карт-заданий для техники по принципам точного земледелия. Применение системы IoT в тепличном хозяйстве позволяет в автоматическом режиме регулировать температурный режим, интенсивность и спектр освещения, реализовать интеллектуальное капельное орошение и подачу питательных растворов на основе физиологических потребностей растений [14].

Главная роль аналитических систем и программных комплексов управления заключается в трансформации разрозненных массивов первичных данных в структурированные цифровые знания, служащие базисом для автоматизации и оптимизации принятия решений.

Если Интернет вещей обеспечивает техническую возможность массового сбора данных, то технологии Big Data предоставляют инструментарий для их

Преимущества		Недостатки	
Мониторинг	получение объективных данных в режиме реального времени о состоянии почвы и сельскохозяйственных земель	Ограниченность технических возможностей	ограниченные возможности по продолжительности полета, грузоподъемности, работы в определенных климатических условиях, а также проблемы со связью в сельской местности
Точное земледелие	возможность дифференцированного внесения удобрений и средств защиты растений	Юридические ограничения	существование ограничений или запретов на использование в некоторых странах из соображений безопасности, сложность процедуры регистрации
Прогнозирование	высокая точность прогнозов урожая сельскохозяйственных культур	Финансовые барьеры	высокая стоимость аппаратов БПЛА, зарядных станций и программного обеспечения
Работа в сложных условиях	использование для посева, опрыскивания на труднодоступных участках		
Инвентаризация	уточнение границ обрабатываемых земель и выявление фактов нецелевого использования		
Страхование	аэросъемка потябших культур для доказательства и получения точной оценки их площади с целью страхового возмещения	Потребность в квалифицированных кадрах	потребность в квалифицированных операторах, инженерах, специалистах по анализу мультиспектральных данных
Контроль абиотических стрессов	выявление теплового стресса или недостатка влаги, в том числе в условиях климатических аномалий	Риск физического повреждения	помолка БПЛА или его сенсоров в результате столкновения с птицами, крупными насекомыми и другими препятствиями
Охрана	мониторинг сельскохозяйственных земель и инфраструктурных объектов для предотвращения хищения урожая и имущества	Угрозы приватности и безопасности	возможное нарушение приватности объектов частной собственности и безопасности режимных объектов при аэросъемке, а использование облачных сервисов повышает вероятность несанкционированного доступа
Развитие сельских территорий	привлечение в сельскую местность квалифицированных кадров, задействованных в использовании БПЛА и анализе данных		

Рис. 1. Преимущества и недостатки использования беспилотных летательных аппаратов в растениеводстве (выполнен по [7–13])

хранения, анализа и принятия на этой основе управленческих решений. В растениеводстве это позволяет выполнять задачи по следующим направлениям:

оптимизация орошения – функционирование автоматизированных систем полива на основе анализа данных о состоянии конкретных участков поля;

рациональное ресурсопотребление – дифференцированное внесение удобрений и средств защиты растений в объемах, соответствующих фактической потребности;

мониторинг фитосанитарного состояния – обнаружение вредителей и патогенов с помощью систем компьютерного зрения на беспилотных летательных аппаратах, что позволяет оперативно локализовать очаги заражения;

принятие управленческих решений – определение оптимальных сроков уборки урожая, а также прогнозирование агротехнических рисков и возможных потерь.

Мировой опыт показывает, что использование технологий Big Data позволяет сократить расход воды, удобрений, пестицидов и т. д. на 15–40 % при сохранении или повышении урожайности. Это способствует смягчению последствий изменения климата и повышению эффективности ресурсопотребления. Тем не менее внедрение таких решений остается неравномерным ввиду их высокой стоимости, проблем управления данными, инфраструктурных ограничений и недостаточной вовлеченности малых сельскохозяйственных производителей в процессы цифровой трансформации [15].

Эффективное использование Big Data в сельском хозяйстве невозможно без интеллектуальных систем поддержки принятия решений. Интернет вещей генерирует первичные данные, инструменты Big Data структурируют их, а СППР обеспечивает интерпретацию полученных результатов. Взаимодействие этих технологий позволяет автоматизировать выбор оптимальных агротехнических стратегий на основе многофакторного анализа текущей ситуации.

Интеграция технологии блокчейн в архитектуру, объединяющую Big Data и СППР, позволяет сформировать доверенную информационную среду в агропромышленном комплексе. Распределенные реестры выполняют функцию верификации и постоянной архивации данных, обеспечивая их целостность, достоверность и устойчивость к несанкционированным изменениям. В условиях цифровизации сельского хозяйства исключение рисков фальсификации сведений (например, о нормах внесения удобрений или температурных режимах) становится базовым требованием для построения аналитических моделей. Блокчейн позволяет не только повысить точность управленческих решений, но и создать прозрачную цепочку добавленной стоимости, где каждое действие подкреплено защищенным цифровым следом, доступным для аудита всем участникам агробизнеса.

Систематизация мирового опыта применения технологии блокчейн позволяет выделить ключевые направления ее использования в растениеводстве:

обеспечение сквозной прослеживаемости производственных ресурсов и продукции. Формирование прозрачной цепочки поставок позволяет конечному по-

требителю верифицировать происхождение товара посредством сканирования QR-кода, условия его производства, переработки и логистики [15, р. 16];

применение смарт-контрактов для автоматизации расчетов. В растениеводстве смарт-контракт выступает цифровым алгоритмом, который автоматически исполняет условия сделки при подтверждении факта отгрузки или качества урожая датчиками IoT. Это исключает человеческий фактор при приемке продукции и гарантирует производителю своевременность расчетов, что позволяет значительно сократить транзакционные издержки и время ожидания выплат [16, р. 38];

формирование цифрового паспорта продукции. Технология блокчейн преобразует данные с датчиков в неизменяемые доказательства, исключая возможность подделки истории производства или объемов внесенных удобрений. Это создает условия для доверительных отношений участников аграрного рынка, где цифровой паспорт продукции становится юридически значимым подтверждением качества и безопасности урожая [17];

агрострахование. Технология блокчейн позволяет автоматизировать эту сферу, фиксируя условия полисов в смарт-контрактах. Благодаря получению в реальном времени данных со спутников или метеостанций можно мгновенно инициировать выплаты производителям при наступлении страховых случаев (например, критических метеопоказателей по уровню осадков) [18]. Такой подход полностью исключает субъективность при оценке ущерба и бюрократические задержки, гарантируя сельхозпроизводителям оперативную финансовую поддержку;

токенизация аграрных активов. Реальные аграрные активы, такие как средства механизации или земельные угодья, переводятся в цифровой формат. Данная технология обеспечивает внедрение моделей совместного владения и упрощает привлечение частных инвестиций через долевое участие. За счет использования смарт-контрактов, встроенных в код блокчейна, токенизация автоматизирует транзакции, способствует соблюдению договорных условий и снижает зависимость от посредников. Она значительно повышает финансовую эффективность, прозрачность и безопасность в сфере финансирования сельского хозяйства, сокращая время выдачи кредитов, транзакционные издержки и риски мошенничества. Исследования, проведенные О. Олатеджу на основе глобальных данных Всемирного банка и ФАО, показывают, что благодаря ей время выдачи кредитов снижается в среднем на 31 %, а транзакционные издержки – на 37 % [19, р. 194];

оптимизация складской логистики. В мировой практике агробизнеса используется система хранения продукции, основанная на выпуске складских свидетельств как инструментов обеспечения залоговых операций [20, с. 78]. Технология блокчейн способствует повышению эффективности ее функционирования. Через токенизацию складских расписок аграрные активы преобразуются в ликвидные цифровые инструменты. Данный механизм автоматизирует передачу прав собственности и гарантирует исполнение обязательств, что предоставляет производителям мгновенный доступ к оборотному капиталу без банковского

посредничества, при этом исполнение обязательств и подтверждение прав собственности автоматизированы;

доступ к мировым рынкам. Технология блокчейн позволяет напрямую связать производителя с иностранным покупателем через торговые платформы. Цифровой паспорт продукции подтверждают ее качество перед зарубежным заказчиком, а смарт-контракт заменяет сложные банковские гарантии, автоматически обеспечивая оплату при выполнении условий поставки. Это позволяет даже малым хозяйствам выходить на внешние рынки, минуя посредников и существенно сокращая транзакционные издержки [16, р. 27].

Перспективным аналитическим элементом в системе диджитализации растениеводства являются цифровые двойники – динамические виртуальные копии реальных полей и агроэкосистем. Интегрируя потоковую информацию от датчиков, спутников и БПЛА, они призваны проводить имитационное моделирование посевов, обеспечивая непрерывную обратную связь между физическим объектом и его цифровым аналогом. Концепция ЦД заключается в возможности виртуальной апробации агротехнических стратегий и прогнозировании урожая, что позволяет минимизировать негативные последствия, особенно в зонах рискованного земледелия. Это оптимизирует структуру затрат и повышает рентабельность за счет принятия экономически обоснованных решений. Как показывают результаты исследований [21, с. 9; 22, р. 17], в мировой практике полномасштабное внедрение ЦД, несмотря на их высокий потенциал, ограничено сложностью моделирования биологических систем, изменчивостью природно-климатических условий, высокой стоимостью, риском отдаления специалистов от реальных процессов и др. Сегодня технология сохраняет статус перспективного и постепенно развивающегося направления, находя наиболее эффективное применение в некоторых областях растениеводства, например в тепличных хозяйствах.

В цифровой парадигме растениеводства технологии автоматизации и точного земледелия выступают в роли исполнительных звеньев, интегрирующих инструменты дистанционного зондирования и аналитические платформы в единую систему управления. Данная совокупность инженерно-цифровых решений обеспечивает высокоточное воздействие на каждый локальный объект на поле. Это позволяет формировать замкнутые интеллектуальные экосистемы, способные оперативно адаптироваться к климатическим вызовам и гарантировать устойчивое производство продукции в условиях неопределенности.

Роботизация является передовым звеном технологий автоматизации и точного земледелия, направленным на выполнение аграрных задач с минимальным участием человека или полностью без него. Такие системы (автономные тракторы, роботы для прополки и уборки и др.) оснащаются GPS, датчиками, компьютерным зрением и искусственным интеллектом для навигации и выполнения точных операций в растениеводстве [23, с. 49]. Они позволяют автоматизировать ручной труд, решая проблему дефицита кадров. Использование таких роботов дает возможность проводить точную механическую прополку или то-

чечное внесение средств защиты растений, снижая общий расход химикатов. Примерами реализации данного направления в Республике Беларусь являются тракторы BELARUS-4522, оснащенный системой управления «Автопилот», и BELARUS-3523i, конструкция которого не предусматривает рабочего места, что позволяет машине функционировать полностью автономно [24, с. 64].

Системы орошения с искусственным интеллектом полностью трансформируют управление водными ресурсами в растениеводстве, переводя его из ручного режима в автоматизированный. Внедрение искусственного интеллекта позволяет в реальном времени анализировать огромные массивы данных о погоде, уровне влажности почвы и потребностях конкретных культур. На основе обработки поступившей информации алгоритмы генерируют оптимальный график полива, динамически регулируя объемы воды, что снижает ее расход до 40–50 % [25; 26, р. 33]. Примеры включают системы капельного орошения, подающие воду непосредственно к корневой системе, и дождевальные системы для больших площадей. Эти технологии обеспечивают адресное воздействие на растения, способствуя увеличению урожайности и устойчивости производства.

В Беларуси системы капельного орошения применяются преимущественно в интенсивном садоводстве, овощеводстве открытого грунта и в тепличных хозяйствах [27]. В мировой практике – более широкий перечень культур: кукуруза, соя, хлопок, рис, картофель и др. Лидером по доле площадей, охваченных капельным орошением, является Израиль.

Средства сберегающей и регенеративной обработки почвы (такие как No-Till, Strip-Till и Mini-Till) интегрированы в цифровое растениеводство как исполнительные методы, эффективность которых напрямую зависит от высокоточной навигации и систем дифференцированного внесения удобрений. Эти методы позволяют перейти от традиционной вспашки к ресурсосберегающему способу [28, р. 34]. Цифровизация дает возможность автоматизировать контроль глубины обработки и точечного управления сорняками с помощью ИИ-датчиков, обеспечивая переход от сплошного воздействия к адресному восстановлению плодородия. Их применение в точном земледелии помогает снизить затраты на производство и предотвратить эрозию почв (рис. 2).

Таким образом, мировая практика показывает, что комплексное внедрение цифровых технологий в растениеводстве позволяет сформировать адаптивную систему управления, способствующую снижению негативного воздействия факторов внешней и внутренней среды: природно-климатической изменчивости, ресурсно-производственных ограничений и рыночной неопределенности. Достижение совокупного эффекта при этом обеспечивается по четырем ключевым направлениям:

технологическая результативность проявляется в переходе к ресурсосберегающей интенсификации, что способствует оптимальному использованию природно-ресурсного потенциала земель и росту валового сбора продукции за счет оптимизации питания растений и повышения производительности труда;

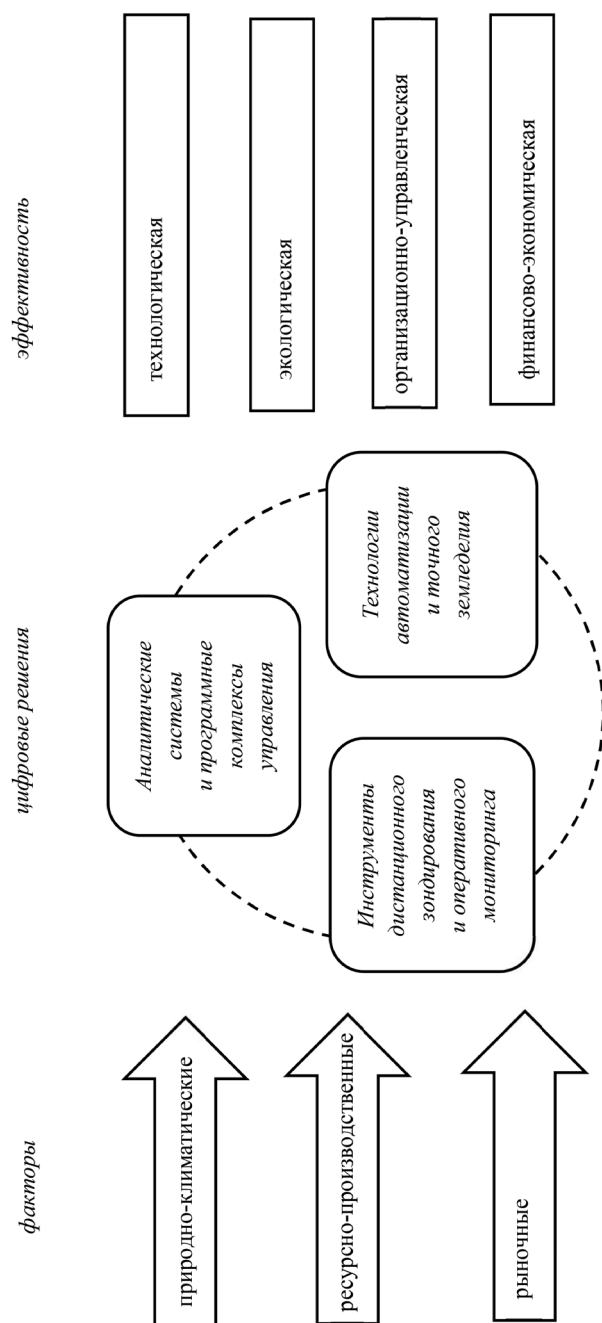


Рис. 2. Концептуальная модель адаптивного управления развитием растениеводства в условиях цифровой трансформации (выполнен по результатам собственных исследований)

экологическая полезность проявляется в снижении химической нагрузки на почву и растения за счет точного внесения удобрений и средств защиты. Цифровые технологии позволяют предотвратить деградацию почвы и сократить вредные выбросы в атмосферу;

организационно-управленческая прагматичность характеризуется минимизацией производственных рисков посредством ситуационного моделирования в цифровых двойниках, а внедрение сквозного мониторинга и блокчейн-технологий сокращает транзакционные издержки. Дополнительный эффект достигается за счет интеллектуализации процессов принятия решений, исключения субъективных ошибок персонала и обеспечения полной прозрачности материальных потоков;

финансово-экономическая успешность выражается в итоговом росте рентабельности производства и чистой прибыли, ускорении оборачиваемости капитала и повышении инвестиционной привлекательности организации.

Заключение

В результате исследования установлено:

1. Климатические, погодные, почвенные, географические и биологические факторы комплексно воздействуют на сельское хозяйство, определяя его отраслевую специализацию и урожайность культур, выступают основной причиной волатильности объемов производства и цен на продукцию. Цифровая трансформация является инструментом нейтрализации природно-климатических факторов, характерных для зоны рискованного земледелия Беларуси. Внедрение информационных решений способно перевести аграрный сектор из категории зависимых от погоды отраслей в прогнозируемый высокотехнологичный бизнес.

2. Современные направления цифровизации в растениеводстве целесообразно систематизировать по трем функциональным группам:

инструменты дистанционного зондирования и оперативного мониторинга;
аналитические системы и программные комплексы управления;
технологии автоматизации и точного земледелия.

В совокупности они формируют единый комплекс, обеспечивающий автоматизацию производственных операций, выступая фактором повышения технологической, экологической, организационно-управленческой и финансово-экономической эффективности отрасли. Внедрение систем точного земледелия и мониторинга позволяет оптимизировать затраты на материально-технические ресурсы, преобразуя массивы данных в экономически эффективные управленческие решения. Комплексная интеграция Big Data и IoT автоматизирует процессы и минимизирует производственные потери, обусловленные влиянием человеческого фактора. Применение блокчейна и смарт-контрактов дополнительно сокращает транзакционные издержки и финансовые риски, устраняя избыточность посреднических структур и снижая информационную асимметрию на агропродовольственном рынке. Перспективным аналитическим элементом в системе цифровизации растениеводства выступают цифровые двойники, ко-

которые позволяют проводить имитационное моделирование состояния посевов и тестировать управленческие решения в виртуальной среде.

3. Исследование мировой практики применения беспилотных летательных аппаратов в аграрном секторе, несмотря на технические, юридические, финансовые и другие факторы, ограничивающие их эффективность, подтверждает стратегическую значимость БПЛА для интенсификации растениеводства и укрепления продовольственной безопасности страны. Наличие собственной конструкторской базы по разработке автономных систем и беспилотных летательных аппаратов позволяет предприятиям Республики Беларусь производить интеллектуальную технику для сельского хозяйства. Данный технологический потенциал с поддержкой со стороны государства создаст объективные предпосылки для импортозамещения в сегменте высокотехнологичного аграрного оборудования.

ПРИМЕЧАНИЕ

Исследование выполнено в рамках ГПНИ «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность», НИР 7.2.5 «Разработка методических подходов к оценке и обоснование направлений повышения конкурентоспособности агропродовольственного сектора Республики Беларусь на рынках ЕАЭС» (№ ГР 20212323); ГНТП «Инновационные и цифровые технологии в агропромышленном комплексе», задание 1.15 «Разработать научно-обоснованные рекомендации по повышению эффективности механизмов регулирования целевых параметров производства и сбыта продукции АПК в Республике Беларусь в условиях конкуренции на евразийских агропродовольственных рынках» (№ ГР 20241997).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Чеплянский, А. В. Климатические и погодные факторы сельскохозяйственного производства / А. В. Чеплянский // Актуальные вопросы экономики и агробизнеса: сб. тр. XVI Междунар. науч.-практ. конф., Брянск, 13–14 марта 2025 г. / Ин-т экономики и агробизнеса ФГБОУ ВО Брян. ГАУ; редкол.: О. В. Дьяченко [и др.]. – Брянск: Изд-во Брян. ГАУ, 2025. – С. 177–180.
2. Стратегия адаптации сельского хозяйства к изменению климата // Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – URL: <https://minpriroda.gov.by/uploads/files/4-Minselxozprod-Strategija-adaptatsii-s-x.pdf> (дата обращения: 03.04.2026).
3. Об определении перечня районов, относящихся к неблагоприятным для производства сельскохозяйственной продукции: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 27 нояб. 2019 г. № 800 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=C21900800> (дата обращения: 03.04.2026).
4. Об определении перечня районов, относящихся к неблагоприятным для производства сельскохозяйственной продукции: постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 14 янв. 2025 г. № 19 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=C22500019> (дата обращения: 03.04.2026).
5. Trendov, N. M. Digital technologies in agriculture and rural areas: status report / N. M. Trendov, S. Varas, Meng Zeng. – Rome: FAO, 2019. – 142 p.
6. Особенности использования беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве Республики Беларусь / В. Н. Еднач [и др.] // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: сб. науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 23–24 нояб. 2023 г. / Бел. гос. аграр. техн. ун-т. – Мн., 2023. – С. 78–82.
7. Цифровое сельское хозяйство Республики Беларусь / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси; под общ. ред. В. Г. Гусакова. – Мн.: Бел. навука, 2024. – 553 с.

8. Петрусенко, В. С. Использование сенсорных технологий для оптимизации внесения твердых гранулированных минеральных удобрений в почву и его влияние на сельское хозяйство / В. С. Петрусенко, Г. О. Иванчиков // Вестник БГСХА. – 2024. – № 2. – С. 131–135.

9. A role of drones and satellite images in agricultural extension: A review / D. K. Gupta, A. Kumar, P. N. Madake [et al.] // International Journal of Agriculture Extension and Social Development. – 2025. – Vol. 8, iss. 3. – P. 1–14. <https://www.doi.org/10.33545/26180723.2025.v8.i3a.1669>.

10. Marian, M.-C. The impact of UAV technology in agricultural monitoring / M.-C. Marian, M. A. Neblea, F. Oproiu // Current Trends in Natural Sciences. – 2024. – Vol. 13, iss. 26. – P. 84–92. <https://doi.org/10.47068/ctns.2024.v13i26.010>.

11. Дьяченко, А. В. Применение беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве как способ повышения урожайности и обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации / А. В. Дьяченко, М. В. Леденева, М. В. Чуб // Бизнес. Образование. Право. – 2025. – № 3. – С. 25–31.

12. Кухмалев, А. В. Использование беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве: технологии и перспективы / А. В. Кухмалев // International Journal of Advanced Studies: Transport and Information Technologies. – 2025. – № 2. – С. 124–142.

13. Такун, С. Оценка и предложения по нивелированию барьеров и проблемных зон цифровизации сельскохозяйственных организаций Республики Беларусь / С. Такун // Аграрная экономика. – 2026. – № 1. – С. 16–33. <https://doi.org/10.29235/1818-9806-2026-1-16-33>.

14. Integration of smart sensors and IOT in precision agriculture: trends, challenges and future perspectives / S. Mansoor, S. Iqbal, S. M. Popescu [et al.] // Frontiers in Plant Science. – 2025. – Vol. 16. – URL: <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1587869> (date of access: 01.04.2026).

15. The role of big data in sustainable agriculture: advancing environmental sustainability in precision farming systems / D. R. Bist, P. Chapagae, A. Kunwar, L. Khatri // Cogent Food & Agriculture. – 2026. – Vol. 12, iss. 1. – URL: <https://doi.org/10.1080/23311932.2026.2620180> (date of access: 01.04.2026).

16. Blockchain for Agri-Food Traceability: Technical Report / R. Meddeb, C. Handforth, G. Desai [et al.] // United Nations Development Programme. – Singapore: UNDP, 2021. – 46 p. – URL: <https://www.undp.org/publications/blockchain-agri-food-traceability> (date of access: 03.04.2026).

17. Agricultural Product Traceability Using Blockchain-Based Digital Product Passports / C. N. Katsimatis, D. Apostolou, A. Efthimiadou, G. Mentzas // 15th International Conference on Information, Intelligence, Systems & Applications (IISA), Chania Crete, Greece, 17–19 July 2024. – URL: <https://doi.org/10.1109/IISA62523.2024.10786712> (date of access: 03.04.2026).

18. Lambey, F. R. Parametric Crop Insurance with FarmFund Pool: A Blockchain-Based Approach for Climate Resilience in Indonesia Agriculture / F. R. Lambey, A. Alamsyah // 2025 International Conference on Data Science and Its Applications (ICoDSA): Jakarta, 3–5 July 2025. – Jakarta: IEEE, 2025. – P. 932–937. <https://doi.org/10.1109/ICoDSA67155.2025.11157645>.

19. Olateju, O. Tokenization of Agricultural Assets: Strengthening Blockchain Security in Agri-finance and Investment Models Against Fraud and Cyber Risks / O. Olateju // Asian Research Journal of Agriculture. – 2025. – Vol 18, iss. 1. – P. 193–215. <https://doi.org/10.9734/arja/2025/v18i1657>.

20. Чеплянская, Н. Система хранения агропродовольственной продукции с использованием электронных складских свидетельств: зарубежный опыт и перспективы в Республике Беларусь / Н. Чеплянская // Аграрная экономика. – 2022. – № 9. – С. 76–88. <https://doi.org/10.29235/1818-9806-2022-9-76-88>.

21. Пилипук, А. Концепция развития цифровых двойников в сельскохозяйственном производстве: аспекты теории и практики / А. Пилипук // Аграрная экономика. – 2023. – № 10. – С. 3–21. <https://doi.org/10.29235/1818-9806-2022-10-3-21>.

22. A Comprehensive Review of Digital Twins Technology in Agriculture / Ruixue Zhang, Huate Zhu, Qinglin Chang, Qirong Mao // Agriculture. – 2025. – Vol. 15, № 903. – URL: <https://doi.org/10.3390/agriculture15090903> (date of access: 01.04.2026).

23. Абросимов В. К. Интеллектуальные сельскохозяйственные роботы / В. К. Абросимов, А. Н. Райков. – М.: Карьера Пресс, 2022. – 512 с.

24. Журавлёв, В. Цифровизация сельского хозяйства в Республике Беларусь: технологические решения для развития / В. Журавлёв // Аграрная экономика. – 2024. – № 3. – С. 60–70. <https://doi.org/10.29235/1818-9806-2024-3-60-70>.

25. Oğuztürk, G. E. AI-driven irrigation systems for sustainable water management: A systematic review and meta-analytical insights / G. E. Oğuztürk // Smart Agricultural Technology. – 2025. – Vol. 11. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100982> (date of access: 01.04.2026).

26. Weber, A. The role of smart irrigation systems in enhancing water conservation in European agriculture / A. Weber // European Journal of Agricultural Water Management. – 2025. – Vol. 1, iss. 1. – P. 29–39.

27. Константинов, А. А. Экономическая эффективность возделывания овощных культур при капельном поливе в северо-восточной зоне Беларуси / А. А. Константинов, В. М. Лукашевич // Мелиорация. – 2025. – № 2. – С. 32–37.

28. The Case for Regenerative Agriculture in Germany – and Beyond / T. Kurth, B. Subei, P. Plötner [et al.]; Boston Consulting Group, NABU. – Berlin, 2023. – 75 p. – URL: https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/landwirtschaft/230323-the_case_for_regenerative_agriculture_longversion-engl.pdf (date of access: 03.04.2026).

Поступила в редакцию 08.04.2026

Сведения об авторах

Чеплянская Наталья Михайловна – старший научный сотрудник сектора планирования;

Чеплянский Андрей Владимирович – доцент кафедры экономической теории, кандидат экономических наук, доцент

Information about the authors

Cheplyanskaya Nataliya Mikhailovna – Senior Researcher of the Planning Sector;

Cheplyansky Andrey Vladimirovich – Associate Professor of the Department of Economic Theory, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor