

Цифровая экосистема плодоовощного производства Республики Казахстан

¹СЕИЛОВ Шахмаран Жүрсинбекович, к.т.н., д.э.н., декан, seilov_sh_zh@enu.kz,

²ХАСАН Мохаммад Камрул, PhD, доцент, mkhasan@ukm.edu.my,

^{1*}АБИЛЬДИНОВ Диас Сатыбаевич, докторант, зав. лабораторией, abildinov_ds_1@enu.kz,

¹БАЕНОВА Гульмира Мусаевна, PhD, старший преподаватель, baenova_gm@enu.kz,

³ЖУРСИНБЕК Бибінұр, магистр, специалист по машинному обучению, zhursinbek99@gmail.com,

¹НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан,

²Национальный университет Малайзии, Банги, Селангор, Малайзия,

³Казахская Академия инфокоммуникаций, ул. Сыганак, 43, Астана, Казахстан,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Представлена новая технологическая парадигма для агропромышленного комплекса республики, направленная на повышение эффективности отечественного сельскохозяйственного производства и обеспечение рынка местной продукцией. Описана глубокая трансформация плодоовощеводства с использованием компьютерного зрения и искусственного обоняния. Предлагается система мониторинга и экспресс-детектирования фитопатогенных болезней отечественных плодовых культур, основанная на этих технологиях. Планируется разработка прогнозной модели объемов производства и необходимых ресурсов для выращивания и хранения яблок, а также технологической карты агротехнических мероприятий. Введена концепция цифрового паспорта продукта для плодоовощных культур на базе блокчейна, включающего данные о сорте, методах производства, сроках хранения, а также информацию о пищевой и биологической ценности продукта для обеспечения потребителей полной и достоверной информацией о его безопасности.

Ключевые слова: вегетационный период, фитопатогенные инфекции, компьютерное зрение, искусственное обоняние, блокчейн, цифровой паспорт продукта, федеративное обучение.

Введение

Интеграция искусственного интеллекта (ИИ) в сельское хозяйство стала ключевой инновацией, обещающей значительный прогресс в производительности, эффективности и устойчивости. В различных исследованиях отмечается, как технологии ИИ могут революционизировать традиционные методы ведения сельского хозяйства, делая их более управляемыми на основе данных и, соответственно, более точным и прагматичным.

Растущий объем публикаций подчеркивает широкий потенциал ИИ в растениеводстве. Системы на базе ИИ могут анализировать обширные наборы данных о состоянии почвы, погодных условиях, болезнях и урожайности сельскохозяйственных культур, что позволяет фермерам оптимизировать использование ресурсов. Эти системы спо-

собствуют точному земледелию, при котором такие ресурсы, как вода, удобрения и пестициды, используются более эффективно, что приводит к повышению урожайности сельскохозяйственных культур и снижению воздействия на окружающую среду.

Агропромышленный комплекс Казахстана на пороге цифровой трансформации, и использование ИИ откроет новую технологическую парадигму. Одной из ключевых задач Национального проекта по развитию АПК на 2021-2025 годы является обеспечение внутреннего рынка качественными отечественными продовольственными продуктами, включая фрукты и овощи. Согласно обзору Food and Agriculture Organization of the United Nations годовой объем производства плодоовощного сектора Казахстана составляет более 2,5 млн тонн фруктов и

около 5 млн тонн овощей, в том числе около четверти тонн овощей в закрытом грунте [1]. Однако на сегодняшний день республика импортирует плодоовощную продукцию больше, чем экспортирует [2]. В 2022 году Казахстан произвел около 267,9 тыс. тонн яблок, что делает его крупнейшим производителем в регионе. Большая часть яблоневых садов сосредоточена в юго-восточной части страны, в предгорьях Тянь-Шаня, где также выращиваются такие знаменитые сорта, как апорт [3].

Многие страны-лидеры в производстве яблок активно внедряют интеллектуальные системы мониторинга и детектирования болезней с целью повышения качества продукции и прогнозирования урожайности. Для сбора данных имеются разные типы датчиков. Например, датчики температуры и влажности регистрируют данные об условиях окружающей среды, датчики кислорода измеряют уровень кислорода в субстрате, что дает информацию о качестве корней и появлении патогенных грибов [4]. Без использования современных технологий производители могут терять до 40% урожая.

Для развития отечественного садоводства необходимы передовые технологии, такие как интернет-вещей, компьютерное зрение и большие данные, а также использование лучших мировых практик в условиях пустынных и засушливых земель.

Общие вопросы и задачи исследования

В настоящее время без использования соответствующих современных технологий мониторинга за плодовыми деревьями невозможно получить высокий урожай и обеспечить его сохранность с минимальными потерями.

Решение данной проблемы обеспечивается повсеместной автоматизацией и использованием цифровых технологий, что позволяет оптимизировать все этапы производственного процесса выращивания овощей и фруктов. На каждом этапе производственного цикла необходима установка соответствующего компонента цифровых технологий. В совокупности все эти компоненты будут объединены в единую платформу, на которой благодаря алгоритмам ИИ будут определяться оптимальные агротехнические решения и, с использованием технологии блокчейн, будет сформирован цифровой паспорт продукта (ЦПП).

Таким образом, можно выделить следующие общие вопросы исследования: анализ и отбор семян, в нашем случае анализ состояния яблони; анализ почвы; прогноз урожая; определение сроков сбора урожая; условия

хранения; отходы, причины возникновения и возможность переработки некондиционной продукции.

Описание методов исследования

Использование технологии компьютерного зрения и искусственного обоняния для экспресс-детектирования болезней яблок

Традиционные методы выявления фитопатогенных заболеваний растений, основанные на экспертной оценке и участии агрономов, характеризуются высокими операционными затратами, временными издержками и сниженной эффективностью, что особенно актуально для масштабного сельского хозяйства в республике [5]. Современные смарт-технологии, включая системы компьютерного зрения и искусственного интеллекта, предлагают более эффективные подходы к диагностике заболеваний и идентификации вредителей на плодоовощных культурах, таких как яблоня [6].

Для разработки методов обнаружения заболеваний фруктов, поддержания их качества на всех этапах вегетации и хранения, а также для прогнозирования урожайности, будет проведен анализ данных прошлых лет в Алматинской области Казахстана. На этапе хранения особое внимание будет уделено обучению моделей на основе данных, полученных от сенсоров электронного носа, что позволит точно прогнозировать состояние фруктов и оптимизировать условия их хранения, включая параметры температуры и влажности. Электронный нос представляет собой мультисенсорную газоаналитическую систему, включающую датчики для определения наличия и концентрации газов O_2 , CO , NH_3 , H_2S ; полупроводниковый металл оксидный датчик для измерения концентрации H_2 , LPG , CH_4 ; а также газовый модуль для анализа CO_2 .

Последовательное решение задач проекта, применение актуальных методов исследования, а также разработка соответствующего программного инструментария сделают возможным создание полноценного аппаратно-программного комплекса. Этот комплекс будет способствовать автоматизации процессов экспресс-детектирования состояния плодов на любой стадии вегетационного периода и разработке модели прогнозирования урожайности. Кроме того, совместное использование компьютерного зрения и устройства искусственного обоняния позволит усовершенствовать систему для мониторинга состояния фруктов в период их хранения. На рисунке 1 представлена карта исследования.

Для достижения исследовательских целей планируется предложить новую систе-

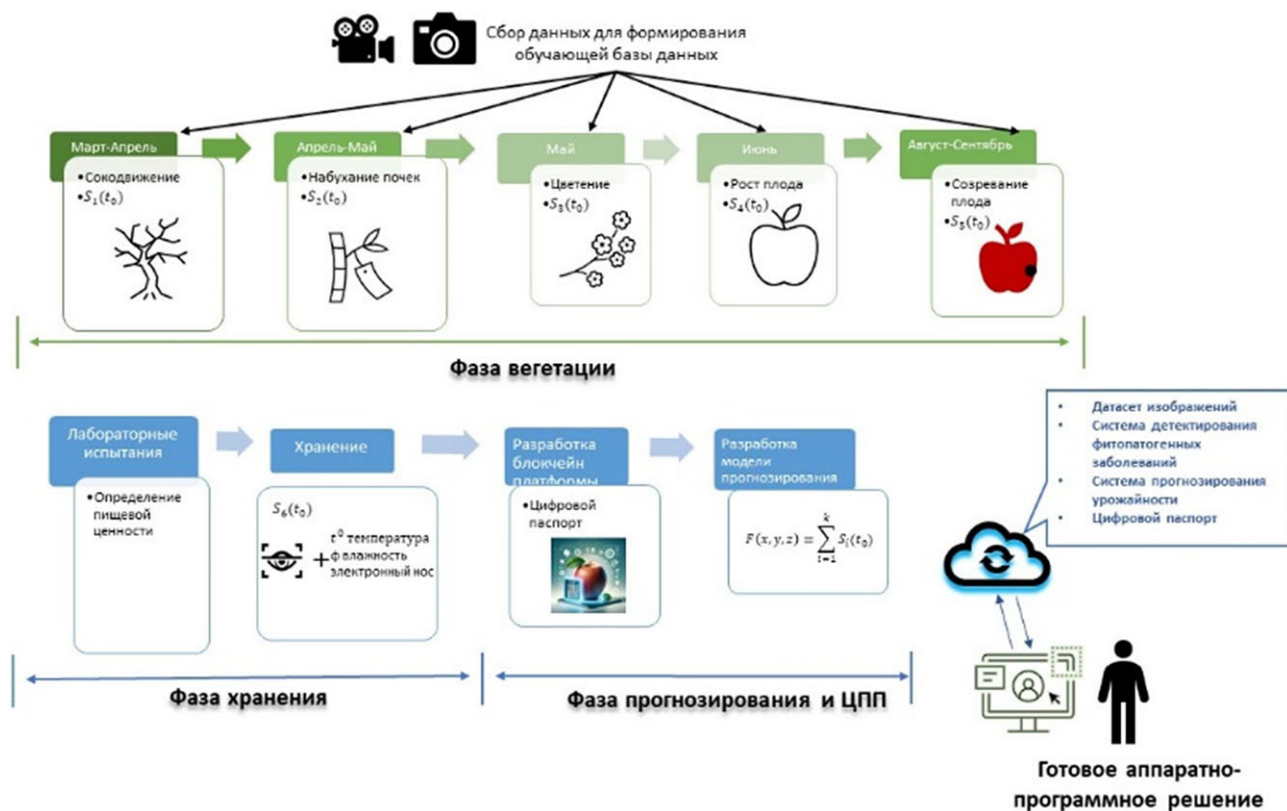


Рисунок 1 – Технологическая карта проведения исследований

му обнаружения фитопатогенных инфекций при производстве отечественных плодовых культур с использованием компьютерного зрения и искусственного обоняния, позволяющую использовать технологии блокчейн для обеспечения безопасности и конфиденциальности данных.

На территории экспериментального садового участка или фермы будет размещена сеть IoT-устройств в качестве хост-устройства для сканирования изображений яблок (эти данные будут поступать на программную платформу для распознавания фактического изображения яблока и анализа изображений), а также пограничного сервера IoT (edge-сервер) для связи с устройствами и хранения локальных наборов данных. На рисунке 2 показана модель программной инфраструктуры на основе блокчейн-технологий.

На начальных этапах пограничный сервер Интернета вещей (IoT) обучает модель на основе локального набора данных, создавая так называемую локальную модель. Для классификации изображений яблок DCNN обрабатывает входное изображение, интерпретируя его как массив пикселей, и классифицирует его по predetermined признакам. Например, пограничный сервер IoT, подключенный к локальным камерам,

имеет доступ к локальному набору изображений яблок, который используется для обучения модели.

Архитектура блокчейн-платформы включает четыре ключевых компонента: клиента, майнера, блокчейн и систему цифровых паспортов. Такое интегрированное решение ускоряет процессы цифровизации и улучшает принятие решений на основе данных. Комбинация технологий распознавания образов и искусственного обоняния обеспечивает более точный мониторинг состояния продукции. Искусственное обоняние выявляет химические и биологические изменения во время хранения, тогда как компьютерное зрение распознает визуальные признаки заболеваний или снижения качества.

Использование нейронных сетей для прогнозирования урожайности

Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур является ключевой задачей для оптимального использования ресурсов. Для этого применяются различные методы, включая полевые исследования, статистические модели и дистанционное зондирование [7].

Прогнозирование урожайности яблок представляет собой сложную задачу, требующую учета множества факторов, таких как климатические условия, состояние почвы,

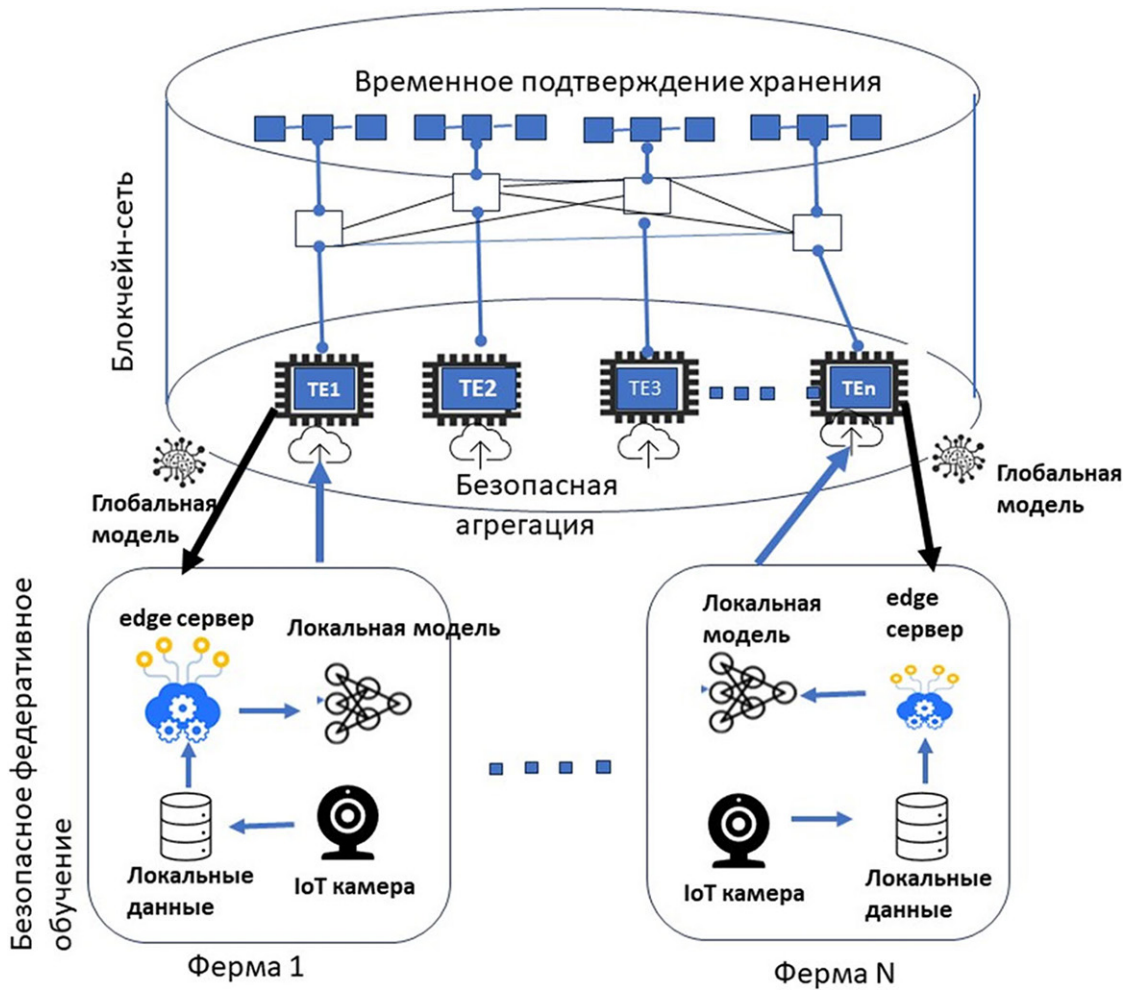


Рисунок 2 – Предлагаемая модель блокчейн с поддержкой федеративного обучения и концептуальной системы DCNN

фенологические стадии и фитопатологии. Применение современных математических моделей и методов машинного обучения существенно повышает точность прогнозов, что критически важно для эффективного планирования агротехнических мероприятий и разработки маркетинговых стратегий. Для достижения максимальной точности прогнозирования необходимо интегрировать данные из различных источников и учитывать множественные факторы, влияющие на рост и развитие плодовых культур.

Разработка цифрового паспорта продуктов питания

Цифровой паспорт продуктов питания (ЦПП) – это инструмент для отслеживания и управления информацией о продуктах на всех этапах их жизненного цикла. Он содержит данные о сборе, хранении, происхождении, составе и условиях производства, улучшая доступ к информации для регулирующих органов и потребителей. Современные программные решения, такие как плат-

формы управления безопасностью пищевых продуктов, автоматизируют сбор и анализ данных, обеспечивая соответствие нормативным требованиям и повышение качества [8]. Интеграция ИИ и блокчейна расширяет возможности ЦПП. ИИ анализирует большие объемы данных, прогнозируя срок годности, оценивая экологическое воздействие и оптимизируя логистику. Блокчейн гарантирует безопасность и неизменяемость данных, поддерживая доверие в цепочке поставок [9].

Таким образом, интеграция представленных технологий в одной экосистеме для плодоовощного производства в Казахстане позволяет комплексно решать задачи мониторинга, диагностики, прогнозирования и управления качеством продукции. Подобного комплексного подхода, объединяющего эти технологии в единую систему, в мире не существует, что делает предложенную модель уникальной и инновационной.

Заключение

Современные цифровые технологии значительно упрощают работу агрономов и повышают эффективность сельского хозяйства, способствуя глубокой цифровой трансформации отрасли. Разрабатываемая аппаратно-программная платформа охватывает все стадии производства и хранения яблок, создавая цифровой паспорт продукта. Аппаратная часть включает датчики, IoT-устройства, дроны и роботы, обеспечивающие сбор данных и ситуационный контроль. Программная часть анализирует данные и предоставляет интерфейсы для детектирования болезней, прогноза урожая,

сортировки, определения срока хранения и выявления заболеваний плодов. Внедрение ЦПП способствует безопасности и качеству продукции, а также устойчивому агробизнесу, но связано с высокими затратами, необходимостью стандартизации и обеспечением защиты данных. Цифровые технологии в садоводстве помогут улучшить производство и создать устойчивую цифровую аграрную экосистему республики.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант AP23488699).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. FAO, Overview of the fruit and vegetable sector in Eurasian and Economic Union countries, vol. 98. FAO, 2023.
2. Болатова Ж.Б. Производство яблок в Казахстане: устойчивое развитие отрасли // Экономика и экология территориальных образований. Vol. 3. Pp. 33-40. 2022.
3. Kuden A., Imrak B., Comlekcioglu S. and Küden A. Introductory Chapter: Apple Cultivation – Recent Advances. In book Apple Cultivation, Ed., Rijeka: IntechOpen, 2023, ch. 1. doi: 10.5772/intechopen.110459.
4. Кулешова Т.Э., Галль Н.Р., Удалова О.Р., Панова Г.Г. Многофункциональный комплекс датчиков для фитомониторинга в условиях интенсивной светокультуры // Агрофизика. 2020. № 4. С. 33-39. DOI: 10.25695/AGRPH.2020.04.06
5. Таубаев А., Жукенов Б., Борисова Е., Сайфуллина Ю. Проблемы и перспективы внедрения наукоемких инновационных технологий в агропромышленном комплексе Казахстана // Вестник Научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного университета. 2020. № 3. С. 106-113. DOI: 10.34130/2070-4992-2020-3-106.
6. Buyukarikan and E. Ulker. Classification of physiological disorders in apples using deep convolutional neural network under different lighting conditions. Multimed Tools Appl, vol. 82, no. 21, pp. 32463-32483, 2023, doi: 10.1007/s11042-023-14766-7.
7. Paudel et al., Machine learning for large-scale crop yield forecasting. Agric Syst, vol. 187, p. 103016, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.agry.2020.103016>.
8. Panza L., Bruno G., and Lombardi F. Integrating Absolute Sustainability and Social Sustainability in the Digital Product Passport to Promote Industry 5.0. Sustainability, vol. 15, no. 16, 2023, doi: 10.3390/su151612552.
9. Tsai C.-W. Toward Blockchain for Intelligent Systems. IEEE Consumer Electronics Magazine, vol. 13, no. 2, pp. 52-60, 2024, doi: 10.1109/MCE.2021.3076611.

Қазақстан Республикасының жеміс көкөніс өндірісінің цифрлық экожүйесі

¹**СЕИЛОВ Шахмаран Жүрсінбекұлы**, Т.Ф.К, Э.Ф.Д., декан, seilov_sh_zh@enu.kz,

²**ХАСАН Мохаммад Камрул**, PhD, доцент, mkhasan@ukm.edu.my,

^{1*}**АБИЛЬДИНОВ Диас Сатыбайұлы**, докторант, зертхана меңгерушісі, abildinov_ds_1@enu.kz,

¹**БАЕНОВА Гульмира Мусақызы**, PhD, аға оқытушы, baenova_gm@enu.kz,

³**ЖУРСІНБЕК Бибінұр**, магистр, машиналық оқыту бойынша маман, zhursinbek99@gmail.com,

¹«Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КеАҚ, Сәтпаев көшесі, 2, Астана, Қазақстан,

²Малайзия ұлттық университеті, Банги, Селангор, Малайзия,

³Қазақ инфокоммуникациялар академиясы, Сығанақ көшесі, 43, Астана, Қазақстан,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Отандық ауыл шаруашылығы өндірісінің тиімділігін арттыруға және нарықты жергілікті өніммен қамтамасыз етуге бағытталған республиканың агроөнеркәсіптік кешені үшін жаңа технологиялық парадигма ұсынылған. Компьютерлік көру және жасанды иіс сезу арқылы бау-бақша шаруашылығының терең трансформациясы сипатталған. Осы технологияларға негізделген отандық жеміс дақылдарының фитопатогендік ауруларын бақылау және жедел анықтау жүйесі ұсынылады. Алма өсіру және сақтау үшін өндіріс көлемі мен қажетті ресурстардың болжамды моделін, сондай-ақ агротехникалық іс-шаралардың технологиялық картасын әзірлеу жоспарлануда. Тұтынушыларды оның қауіпсіздігі туралы толық және сенімді ақпаратпен қамтамасыз ету үшін сорт, өндіріс әдістері, сақтау мерзімі туралы деректерді, сондай-ақ өнімнің тағамдық және биологиялық құндылығы туралы ақпаратты қамтитын блокчейнге негізделген бау-бақша дақылдарына арналған цифрлық өнім паспортының тұжырымдамасы енгізілді.

Кілт сөздер: вегетациялық кезең, фитопатогендік инфекциялар, компьютерлік көру, жасанды иіс, блокчейн, өнімнің сандық төлқұжаты, Федеративті оқыту.

Digital Ecosystem of Fruit and Vegetable Production in The Republic of Kazakhstan

¹**SEILOV Shakhmaran**, Cand. of Tech. Sci., Dr. of Econ. Sci., Dean, seilov_sh_zh@enu.kz,

²**HASAN Mohammad Kamrul**, PhD, Associate Professor, mkhasan@ukm.edu.my,

^{1*}**ABILDINOV Dias**, Doctoral Student, Head of Laboratory, abildinov_ds_1@enu.kz,

¹**BAENOVA Gulmira**, PhD, Senior Lecturer, baenova_gm@enu.kz,

³**ZHURSINBEK Bibinur**, Master's Degree, Machine Learning Specialist, zhursinbek99@gmail.com,

¹NPJSC «L.N. Gumilyov Eurasian National University», Satpayev Street, 2, Astana, Kazakhstan,

²University Kebangsaan Malaysia, Bangi, Selangor, Malaysia,

³Kazakh Academy of Infocommunications, Syganak Street, 43, Astana, Kazakhstan,

*corresponding author.

Abstract. A new technological paradigm for the agro-industrial complex of the republic has been presented, aimed at increasing the efficiency of domestic agricultural production and providing the market with local products. A profound transformation of fruit and vegetable growing using computer vision and artificial olfaction is described. A system for monitoring and express detection of phytopathogenic diseases of domestic fruit crops based on these technologies is proposed. It is planned to develop a forecast model of production volumes and the necessary resources for growing and storing apples, as well as a technological map of agrotechnical measures. The concept of a digital product passport for fruit and vegetable crops based on blockchain has been introduced, including data on the variety, production methods, shelf life, as well as information on the nutritional and biological value of the product to provide consumers with complete and reliable information on its safety.

Keywords: vegetation period, phytopathogenic infections, computer vision, artificial olfaction, blockchain, digital product passport, federated learning.

REFERENCES

1. FAO, Overview of the fruit and vegetable sector in Eurasian and Economic Union countries, vol. 98. FAO, 2023.
2. Bolatova Zh.B. Apple Production in Kazakhstan: Sustainable Development of the Industry // Economics and Ecology of Territorial Entities. Vol. 3. Pp. 33-40. 2022.
3. Kuden A., Imrak B., Comlekcioglu S. and Küden A. Introductory Chapter: Apple Cultivation – Recent Advances. In book Apple Cultivation, Ed., Rijeka: IntechOpen, 2023, ch. 1. doi: 10.5772/intechopen.110459.
4. Kuleshova T.E., Gall N.R., Udalova O.R., Panova G.G. Multifunctional sensor complex for phytomonitoring under conditions of intensive light culture // Agrophysics. 2020. No. 4. Pp. 33-39. DOI: 10.25695/AGRPH.2020.04.06
5. Taubayev A., Zhukenov B., Borisova E., Saifullina Y. Problems and prospects for the introduction of high-tech innovative technologies in the agro-industrial complex of Kazakhstan // Bulletin of the Research Center for Corporate Law, Management and Venture Investment, Syktyvkar State University. 2020. No. 3. Pp. 106-113. DOI: 10.34130/2070-4992-2020-3-106.
6. Buyukarikan and E. Ulker. Classification of physiological disorders in apples using deep convolutional neural network under different lighting conditions. Multimed Tools Appl, vol. 82, no. 21, pp. 32463-32483, 2023, doi: 10.1007/s11042-023-14766-7.
7. Paudel et al., Machine learning for large-scale crop yield forecasting. Agric Syst, vol. 187, p. 103016, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.103016>.
8. Panza L., Bruno G., and Lombardi F. Integrating Absolute Sustainability and Social Sustainability in the Digital Product Passport to Promote Industry 5.0. Sustainability, vol. 15, no. 16, 2023, doi: 10.3390/su151612552.
9. Tsai C.-W. Toward Blockchain for Intelligent Systems. IEEE Consumer Electronics Magazine, vol. 13, no. 2, pp. 52-60, 2024, doi: 10.1109/MCE.2021.3076611.