

УДК 004

DOI: <https://doi.org/10.66941/3106-9037/2026/iss2pp31-40>**Б.А. Дүйсембеков***ТОО «Казахский научно-исследовательский институт защиты и карантина растений
им. Ж. Жиёмбаева», Алматы, Казахстан***СОВРЕМЕННЫЕ ЦИФРОВЫЕ РЕШЕНИЯ В УПРАВЛЕНИИ ФИТОСАНИТАРНЫМИ
РИСКАМИ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН**

Дүйсембеков Б.А., кандидат биологических наук, профессор, академик КААН и НИА РК, Председатель Правления ТОО «Казахский научно-исследовательский институт защиты и карантина растений им. Ж. Жиёмбаева», Алматы, Казахстан.

E-mail: bduisembekov@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8572-9906>

Аннотация. В современных условиях обеспечение фитосанитарной безопасности становится одним из ключевых факторов устойчивого развития агропромышленного комплекса и обеспечения продовольственной безопасности государства. Изменение климата, расширение международной торговли, появление новых карантинных объектов и растущие масштабы распространения вредных организмов требуют внедрения современных цифровых технологий для мониторинга, прогнозирования и управления фитосанитарными рисками. В статье рассматриваются современные тенденции цифровой трансформации фитосанитарной службы Республики Казахстан. Представлены результаты внедрения геоинформационных систем, технологий дистанционного зондирования Земли, беспилотных летательных аппаратов, искусственного интеллекта, цифровых платформ, мобильных лабораторий и систем поддержки принятия решений. Особое внимание уделяется развитию Казахского научно-исследовательского института защиты и карантина растений им. Ж. Жиёмбаева, направленных на повышение эффективности фитосанитарного мониторинга и внедрения инновационных технологий в сельскохозяйственное производство. Показано, что интеграция научных исследований, цифровых технологий и производственной практики является основой для формирования современной системы управления фитосанитарными рисками.

Ключевые слова: фитосанитарная безопасность, цифровизация, искусственный интеллект, беспилотные летательные аппараты, геоинформационные системы, мониторинг, прогнозирование, карантин растений.

Б.А. Дүйсембеков*«Ж. Жиёмбаев атындағы Қазақ өсімдіктерді қорғау және карантин ғылыми-зерттеу институты» ЖШС, Алматы, Қазақстан***ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНДАҒЫ ФИТОСАНИТАРИЯЛЫҚ ТӘУЕКЕЛДЕРДІ
БАСҚАРУДАҒЫ ЗАМАНАУИ ЦИФРЛЫҚ ШЕШІМДЕР**

Дүйсембеков Б.А., биология ғылымдарының кандидаты, профессор, ҚААН және ҚР ҰИА академигі, «Ж. Жиёмбаев атындағы Қазақ өсімдіктерді қорғау және карантин ғылыми-зерттеу институты» ЖШС Басқарма Төрағасы, Алматы, Қазақстан;

E-mail: bduisembekov@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8572-9906>

Аннотация. Қазіргі жағдайда фитосанитариялық қауіпсіздікті қамтамасыз ету агроөнеркәсіптік кешеннің орнықты дамуының және мемлекеттің азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз етудің негізгі факторларының біріне айналуға. Климаттың өзгеруі, халықаралық сауданың кеңеюі, жаңа карантиндік объектілердің пайда болуы және зиянды организмдердің таралу ауқымының ұлғаюы фитосанитариялық тәуекелдерді мониторингілеудің, болжаудың және басқарудың заманауи цифрлық технологияларын енгізуді талап етеді. **Мақсаты** – Қазақстан Республикасы фитосанитариялық қызметінің цифрлық трансформациясының

заманауи бағыттарын қарастыру. Мақалада геоақпараттық жүйелерді, жерді қашықтықтан зондтау технологияларын, ұшқышсыз ұшу аппараттарын, жасанды интеллектті, цифрлық платформаларды, мобильді зертханаларды және шешімдерді қолдау жүйелерін енгізу нәтижелері келтірілген. Фитосанитариялық мониторингтің тиімділігін арттыруға және ауыл шаруашылығы өндірісіне инновациялық технологияларды енгізуге бағытталған ж. Жиёмбаев атындағы Қазақ өсімдіктерді қорғау және карантин ғылыми-зерттеу институтының әзірлемелеріне ерекше назар аударылды. *Қорытындылар:* ғылыми зерттеулердің, цифрлық технологиялар мен өндірістік практиканың интеграциясы фитосанитариялық тәуекелдерді басқарудың заманауи жүйесін қалыптастырудың негізі болып табылады.

Түйін сөздер: фитосанитариялық қауіпсіздік, цифрландыру, жасанды интеллект, ұшқышсыз ұшу аппараттары, геоақпараттық жүйелер, мониторинг, болжау, өсімдіктер карантині.

B.A. Duisembekov

*LLP «Kazakh Research Institute of Plant Protection and Quarantine named after Zh. Zhiembaev»,
Almaty, Kazakhstan*

MODERN DIGITAL SOLUTIONS IN PHYTOSANITARY RISK MANAGEMENT IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

Duisembekov B.A., Candidate of Biological Sciences, Professor, Academician of the Kazakh Academy of Agricultural Sciences and the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Chairman of the Board of LLP “Kazakh Research Institute of Plant Protection and Quarantine named after Zh. Zhiembaev”, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: bduisembekov@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8572-9906>

Abstract. In modern conditions, ensuring phytosanitary safety is becoming one of the key factors for the sustainable development of the agro-industrial complex and ensuring the state's food security. Climate change, the expansion of international trade, the emergence of new quarantine objects, and the growing scale of the spread of harmful organisms require the introduction of modern digital technologies for monitoring, forecasting, and managing phytosanitary risks. The article examines the current trends in the digital transformation of the phytosanitary service of the Republic of Kazakhstan. The results of implementing geoinformation systems, Earth remote sensing technologies, unmanned aerial vehicles, artificial intelligence, digital platforms, mobile laboratories, and decision support systems are presented. Special attention is paid to the developments of the Kazakh Research Institute of Plant Protection and Quarantine named after Zh. Zhiembaev, aimed at improving the efficiency of phytosanitary monitoring and introducing innovative technologies into agricultural production. It is shown that the integration of scientific research, digital technologies, and production practice is the basis for forming a modern system for managing phytosanitary risks.

Keywords: phytosanitary safety, digitalization, artificial intelligence, unmanned aerial vehicles, geographic information systems, monitoring, forecasting, plant quarantine.

Введение

Фитосанитарная безопасность является одним из ключевых элементов продовольственной, экологической и экономической безопасности государства, обеспечивая устойчивость сельскохозяйственного производства, сохранение биоразнообразия и стабильность международной торговли растительной продукцией. По оценкам Секретариата Международной конвенции по карантину и защите растений (IPPC) и Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO), ежегодно до 40% мирового урожая сельскохозяйственных культур теряется вследствие воздействия вредителей, болезней и сорных растений, что эквивалентно экономическим потерям более 220 млрд долларов США в год [1].

Современные изменения климата, интенсификация международной торговли, увеличение объемов трансграничного перемещения растительной продукции и расширение

ареалов распространения инвазивных видов способствуют росту фитосанитарных рисков во многих странах мира [1, 2]. По данным FAO, для стран Центральной Азии прогнозируется дальнейшее усиление негативного влияния климатических изменений на распространение вредных организмов, что приведет к увеличению потерь урожая и усложнению системы фитосанитарного контроля, что также подтверждается многолетними исследованиями отечественных ученых [1, 7].

Для Республики Казахстан проблема обеспечения фитосанитарной безопасности имеет особую актуальность вследствие значительной площади сельскохозяйственных угодий, разнообразия природно-климатических зон и высокой экспортной ориентированности агропромышленного комплекса. Закон Республики Казахстан «О карантине растений» определяет необходимость систематического мониторинга, своевременного выявления карантинных объектов и проведения комплекса профилактических мероприятий по предупреждению их распространения [4].

По данным Комитета государственной инспекции в агропромышленном комплексе Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан, на территории страны зарегистрировано 13 особо опасных вредных организмов и 14 ограниченно распространённых карантинных объектов, представляющих существенную угрозу сельскохозяйственному производству, согласно нормативно-правовым актам и требованиям, закрепленным уполномоченными органами [5, 6].

Наиболее напряженная фитосанитарная ситуация наблюдается в южных регионах, где распространены южноамериканская томатная моль (*Tuta absoluta*), дынная муха (*Myiopardalis pardalina*), вирусные болезни овощных культур и инвазивные сорные растения. Для северных областей характерны массовые очаги саранчовых вредителей, семенная инфекция зерновых культур и карантинный сорняк горчак ползучий (*Acroptilon repens*). В восточных регионах возрастает значение мониторинга лесных вредителей и предупреждения фитосанитарных последствий природных пожаров.

Следует отметить, что современная фитосанитарная ситуация представляет собой системную проблему, требующую комплексного подхода к мониторингу и управлению. В этих условиях особое значение приобретают цифровые технологии, обеспечивающие оперативное получение, обработку и анализ больших массивов данных.

Современная цифровая трансформация сельского хозяйства открывает новые возможности для повышения эффективности мониторинга, прогнозирования и управления фитосанитарными рисками. Применение геоинформационных систем (ГИС), технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), беспилотных летательных аппаратов, искусственного интеллекта, больших данных и цифровых платформ поддержки принятия решений позволяет осуществлять непрерывный контроль фитосанитарной обстановки, прогнозировать развитие вредных организмов и своевременно принимать управленческие решения, минимизируя экономические потери и экологические риски.

Целью настоящего исследования является комплексный анализ современных цифровых решений в области управления фитосанитарными рисками и оценка эффективности их внедрения в систему обеспечения фитосанитарной безопасности Республики Казахстан на основе научно-инновационных разработок ТОО «КазНИИЗиКР им. Ж. Жиенбаева».

Методологические основы цифровой фитосанитарии

Современная система фитосанитарного мониторинга основывается на интеграции различных источников информации и применении интеллектуальных методов анализа данных. Базовый методологический принцип функционирования современной системы цифровой фитосанитарии, реализуемый в научно-производственной практике института, можно представить в виде последовательной цепочки сквозных процессов:

Данные → Анализ → Прогноз → Решение → Результат

Для математического моделирования и прогнозирования фитосанитарных рисков в работе использованы следующие методологические подходы:

1. Сбор многоспектральных данных и ДЗЗ: Сбор первичной информации осуществляется с помощью съемок с БПЛА и спутников. Для оценки депрессии посевов и выявления очагов поражения рассчитывается нормализованный относительный вегетационный индекс (NDVI) по формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED},$$

где: NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра;
RED – отражение в красной области спектра [8].

2. Прогнозирование на основе тепловых единиц: Краткосрочный и среднесрочный прогноз фенодинамики вредителей базируется на расчете суммы эффективных температур (SET):

$$SET = \Sigma (T_{mean} - T_{lower}),$$

где: T_{mean} – среднесуточная температура воздуха;
 T_{lower} – нижний порог развития конкретного биологического объекта [9].

Использование цифровых технологий позволяет не только получать оперативную информацию о текущем состоянии агроэкосистем, но и моделировать динамику развития фитосанитарной ситуации на основе многофакторного анализа. По оценкам специалистов института, внедрение современных сквозных ИТ-решений позволяет обеспечить точность прогнозирования распространения вредных организмов на уровне 85-95%, что существенно повышает биологическую и экономическую эффективность защитных мероприятий.

Результаты внедрения цифровых разработок ТОО «КазНИИЗиКР»

В рамках реализации стратегических направлений развития научно-инновационной инфраструктуры ТОО «КазНИИЗиКР им. Ж. Жиембаева» был разработан и внедрен комплекс программно-аппаратных решений, мобильных систем и инновационных агротехнологий.

1. Интеллектуальная система программного прогнозирования «Forecast Assistant»

Одним из перспективных направлений цифровизации является разработка специализированных программных средств прогнозирования. Система разработана для автоматизированного долгосрочного и краткосрочного прогнозирования пространственно-временного распространения 16 видов особо опасных и карантинных вредных организмов. Алгоритм программы агрегирует комплекс факторов, включающий ежедневные метеорологические условия (температура, влажность, сумма эффективных температур), биологические особенности развития конкретного вредителя или патогена, региональные географические характеристики и исторические пространственные данные мониторинга прошлых лет. Использование системы способствует резкому повышению оперативности принятия решений государственными органами и фермерскими хозяйствами, снижая риски возникновения фитосанитарных чрезвычайных ситуаций.

2. Платформа «Цифровой полевой журнал»

Для технологической модернизации процессов полевого обследования специалистами института создана информационная система «Цифровой полевой журнал». Данное мобильное приложение обеспечивает автоматизацию сбора, верификации и передачи данных фитосанитарного мониторинга в режиме реального времени (Рисунок 1). К ключевым преимуществам платформы относятся:

- возможность полноценной автономной работы в полевых условиях при отсутствии доступа к сети Интернет;
- жесткая стандартизация форм и протоколов сбора данных, исключающая субъективную оценку;
- автоматическая спутниковая регистрация точных географических координат (геолокация) точек учета;

- бесшовная интеграция геопривязанных фото- и видеоматериалов фитосанитарных объектов;
- автоматизированная передача накопленных данных в единую централизованную базу данных института при восстановлении связи;
- минимизация человеческого фактора и исключение фальсификации данных мониторинга.

Использование цифрового полевого журнала позволяет существенно повысить достоверность мониторинговых данных и сократить сроки их обработки.



Рисунок 1 - Цифровой фитосанитарный мониторинг

3. Мобильная лаборатория

Мобильная лаборатория представляет собой высокотехнологичный автономный научно-исследовательский комплекс на базе специализированного автотранспорта, выполняющий функции «скорой помощи» для агроценозов (Рисунок 2).



Рисунок 2 – Мобильная лаборатория

Лаборатория укомплектована аналитическим оборудованием для проведения:

- оперативной ПЦР-диагностики непосредственно у края поля без необходимости транспортировки образцов в стационарные центры;
- экспресс-выявления латентных форм карантинных и особо опасных объектов;
- точной этиологической диагностики грибных, бактериальных и вирусных заболеваний растений;
- экспресс-анализа физико-химических показателей почв и комплексной оценки обеспеченности растений элементами минерального питания.

Развертывание мобильной лаборатории позволило сократить время проведения комплексной фитосанитарной диагностики с традиционных 6-7 дней до 2 часов, что имеет критически важное значение при вспышках размножения вредителей или трансграничных заносах инфекций.

4. Алгоритмические и интеллектуальные методы анализа фитосанитарных данных

Для повышения точности прогнозирования фитосанитарных рисков применяется комплексный алгоритмический подход, основанный на интеграции разнородных данных, характеризующих состояние агроэкосистемы и динамику развития вредных организмов. В качестве входных параметров используются метеорологические показатели (температура воздуха, влажность, количество осадков), сумма эффективных температур, данные многолетнего фитосанитарного мониторинга, пространственные координаты выявленных очагов, фенологические характеристики вредных организмов, а также данные дистанционного зондирования Земли и беспилотных летательных аппаратов.

Алгоритм обработки информации включает несколько последовательных этапов: сбор и верификацию исходных данных, их предварительную обработку и нормализацию, пространственно-временную привязку, расчет биоклиматических и вегетационных показателей, выявление статистических закономерностей и формирование прогнозной оценки фитосанитарного риска. Таким образом, общая алгоритмическая схема может быть представлена в следующем виде:

Сбор данных → Предварительная обработка → Нормализация → Пространственно-временной анализ → Расчет биоклиматических показателей → Интеллектуальный анализ → Прогнозирование → Оценка фитосанитарного риска → Формирование управленческого решения.

Для комплексной количественной оценки фитосанитарной ситуации может использоваться интегральный показатель риска, учитывающий совокупное влияние основных факторов:

$$R = w_1M + w_2B + w_3V + w_4H + w_5S,$$

где R – интегральный показатель фитосанитарного риска; M – нормализованный показатель влияния метеорологических условий; B – показатель биологического развития вредного организма, учитывающий его фенологическую стадию и температурные пороги развития; V – показатель состояния растительности, определяемый на основе вегетационных индексов, включая NDVI; H – показатель, характеризующий историческую частоту и интенсивность выявления вредного организма на обследуемой территории; S – пространственный показатель, отражающий географическую близость к ранее зарегистрированным очагам и потенциальные направления распространения; w_1 – w_5 – весовые коэффициенты, определяющие относительный вклад каждого фактора в формирование итогового риска.

Значения входных показателей предварительно приводятся к сопоставимому диапазону путем нормализации. Весовые коэффициенты могут определяться на основе статистического анализа многолетних данных фитосанитарного мониторинга и уточняться по мере накопления новых наблюдений. Полученный интегральный показатель позволяет проводить ранжирование обследуемых территорий по уровню фитосанитарного риска и формировать пространственные карты потенциального распространения вредных организмов.

Для повышения адаптивности прогнозирования в алгоритмическую модель интегрируются методы машинного обучения. Вектор входных признаков $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, включающий метеорологические, биологические, спектральные, пространственные и исторические параметры, используется для определения вероятности возникновения или развития фитосанитарно опасного события:

$$P(y = 1 | X) = f(X),$$

где $P(y = 1 | X)$ – прогнозируемая вероятность формирования или развития очага вредного организма при заданной совокупности факторов, а $f(X)$ – прогнозная функция, формируемая на основе алгоритмов машинного обучения. В зависимости от структуры и объема накопленных данных для решения задач классификации и прогнозирования могут применяться методы логистической регрессии, Random Forest и градиентного бустинга. Использование ансамблевых алгоритмов позволяет учитывать нелинейные взаимосвязи между климатическими, биологическими и пространственными факторами, а также оценивать относительную значимость отдельных признаков при формировании фитосанитарного риска.

Отдельным направлением применения искусственного интеллекта является автоматизированный анализ цифровых изображений, получаемых в ходе полевого мониторинга и съемки с использованием беспилотных летательных аппаратов. Методы компьютерного зрения и сверточных нейронных сетей могут использоваться для обнаружения и классификации визуальных признаков поражения растений, распознавания вредных организмов и определения пространственных границ потенциальных очагов. Результаты автоматизированного анализа изображений интегрируются с координатами обследований, метеорологическими и историческими данными, что обеспечивает формирование геоинформационных слоев и карт фитосанитарного риска.

Валидация прогнозных моделей осуществляется путем сопоставления расчетных результатов с фактическими данными полевого фитосанитарного мониторинга. Для оценки качества моделей классификации могут использоваться показатели Accuracy, Precision, Recall и F1-score, а для количественного прогнозирования динамики численности вредных организмов – средняя абсолютная ошибка (MAE), среднеквадратичная ошибка (RMSE) и коэффициент детерминации (R^2). Такой подход позволяет объективно оценивать прогностическую способность используемых алгоритмов и проводить их последовательное уточнение по мере накопления новых данных.

Интеграция математических методов, алгоритмов машинного обучения, технологий искусственного интеллекта, ГИС, ДЗЗ и данных полевого мониторинга формирует основу интеллектуальной системы поддержки принятия решений. В рамках данной концепции цифровая платформа выполняет не только функцию накопления и визуализации информации, но и обеспечивает последовательный переход от первичных данных к прогнозной оценке риска и выработке рекомендаций: данные → анализ → модель → прогноз → карта риска → управленческое решение. Такой подход создает предпосылки для перехода от традиционного реагирования на уже сформировавшиеся очаги вредных организмов к превентивному управлению фитосанитарными рисками на основе прогнозных алгоритмов и интеллектуального анализа данных.

5. Использование БПЛА и технологий искусственного интеллекта

Применение беспилотных авиационных систем в институте осуществляется по двум ключевым направлениям: многомерный мониторинг и ультрамалообъемное опрыскивание (УМО). Использование спектрометрических камер на БПЛА в сочетании со спутниковыми данными ДЗЗ позволяет рассчитывать вегетационные индексы (NDVI и др.) для раннего выявления очагов депрессии посевов, вызванных скрытыми патогенами или вредителями.

Совместно с зарубежными партнерами внедряются технологии многомерного ИИ-мониторинга, где нейросетевые алгоритмы машинного обучения осуществляют распознавание образов вредных организмов по фотоснимкам и прогнозируют темпы роста популяций. В сфере практической защиты растений применение групп из четырех беспилотных опрыскивателей обеспечивает производительность на уровне 400-600 гектаров в сутки с высокой точностью внесения препаратов на сое, рисе, кукурузе, хлопчатнике, томатах, а также в труднодоступных лесных массивах и рекреационных зонах (Рисунок 3).



Рисунок 3 - Обработка посевов с применением БПЛА

5. Инновационная технология «BioDrop»

Проект «BioDrop» представляет собой передовое роботизированное решение в области биологизации АПК, направленное на автоматизированное расселение полезных насекомых-энтомофагов (например, трихограммы, габробракона и макролофуса) с помощью БПЛА. В рамках проекта разработаны оригинальные биodeградируемые защитные капсулы, технологии капсулирования биоагентов и специализированные навесные автоматические распределительные устройства, изготовленные с применением аддитивных технологий (3D-печати). Использование «BioDrop» гарантирует прецизионное равномерное внесение биоагентов по заданной GPS-сетке, снижает трудозатраты и полностью исключает применение химических пестицидов на обрабатываемых площадях (Рисунок 4).

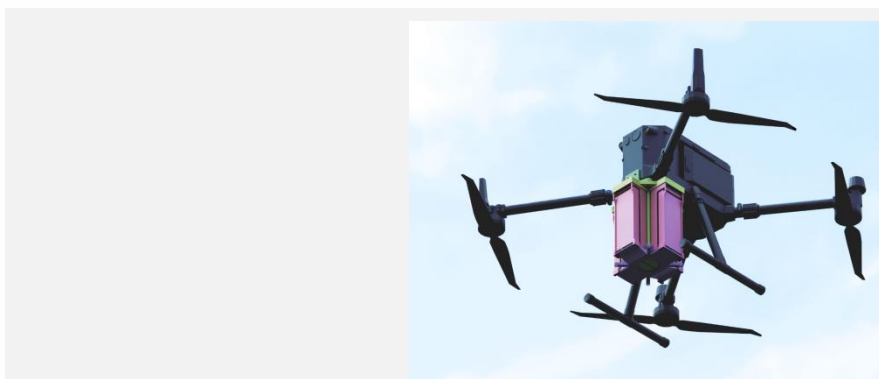


Рисунок 4 - Инновационная технология «BioDrop»

6. Комбинированные механико-химические технологии контроля карантинных сорняков

Для борьбы с горчаком ползучим в системе зернопарового севооборота специалистами Института разработан и запатентован 3-х ярусный культиватор-плоскорез с подпочвенным дифференцированным внесением гербицидов и удобрений (Рисунок 5). Агрегат за один проход реализует синергетический метод контроля: агротехнический (механическое измельчение мощной корневой системы горчака на мелкие отрезки до 5 см, теряющие способность к регенерации) и химический (создание подпочвенного фитотоксичного гербицидного экрана, уничтожающего проростки корней и семена сорняка в глубоких слоях). Данная технология обеспечивает биологическую эффективность до 96%, снижает производственные затраты в 3-4 раза и повышает последующую урожайность культур на 25-30%.

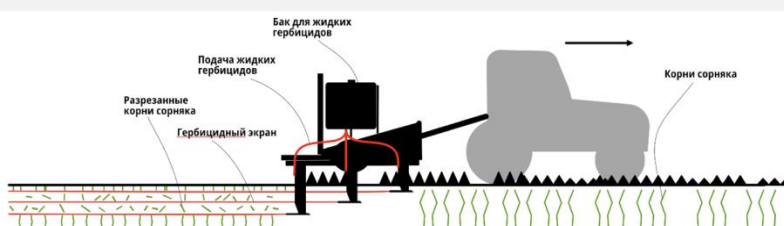


Рисунок 5 - 3-х ярусный культиватор-плоскорез для борьбы с горчаком ползучим

Заключение

Полученные результаты IT-решений ТОО «КазНИИзиКР» убедительно доказывают, что перевод фитосанитарной службы на цифровые рельсы позволяет радикально изменить сам характер управления рисками. Происходит концептуальный переход от реактивного подавления уже развившихся, масштабных очагов вредных организмов к превентивному интеллектуальному управлению на ранних стадиях биологического развития и начальных циклах размножения вредных организмов. Это полностью согласуется с глобальными трендами концепции точного земледелия и международными принципами интегрированной защиты растений.

Практическая ценность разработанных систем, таких как программный комплекс «Forecast Assistant» и платформа «Цифровой полевой журнал», заключается в минимизации человеческого фактора и обеспечении сквозной верификации данных. В традиционных схемах мониторинга задержка между фиксацией объекта в поле и принятием управленческого решения составляла от нескольких дней до недели, что в критические фазы развития вредителей (например, при переходе нестадных саранчовых во вредоносную стадию или вспышках бактериального ожога) приводило к потере урожая. Цифровизация процессов и интеграция экспресс-диагностики на базе мобильных лабораторий сократили это технологическое окно до 2 часов.

Разработанные цифровые и научные решения обеспечивают высокую биологическую и экономическую эффективность, выступая фундаментальным технологическим базисом для построения современной системы защиты сельскохозяйственных угодий, минимизируя фитосанитарные риски и формируя гибкую, устойчивую к климатическим вызовам агроэкосистему, способную стабильно воспроизводить высокий потенциал отечественного растениеводства.

Таким образом, цифровизация фитосанитарии становится магистральным вектором научно-технологического суверенитета агропромышленного комплекса Республики Казахстан и фундаментальным инструментом обеспечения биологической безопасности государства.

Выводы:

1. Цифровизация фитосанитарной отрасли является стратегическим вектором развития и залогом обеспечения продовольственной, биологической и экологической безопасности Республики Казахстан в условиях глобальных климатических вызовов.
2. Интеграция ГИС-технологий, ДЗЗ, беспилотных авиационных систем и нейросетевых алгоритмов искусственного интеллекта позволяет достичь точности прогнозирования динамики популяций вредных объектов на уровне 85–95%, а также сократить время проведения полевой диагностики до 2 часов.
3. Научно-технические разработки ТОО «КазНИИЗиКР» демонстрируют высокую эффективность и перспективность практического применения.
4. Современная аграрная наука должна быть полностью ориентирована на полевые условия – непосредственно туда, где принимаются оперативные производственные решения и закладывается экономическая устойчивость сельскохозяйственного производства страны.

Литература

1. FAO. Climate change impacts on twenty major crop pests in Central Asia, the Caucasus and Southeastern Europe. Rome: FAO, 2021 – 148 p.
2. International Plant Protection Convention (IPPC). Plant Health & Food Security: Global partnership for protecting sustainable agriculture. – Rome: FAO/IPPC, 2023.
3. International Plant Protection Convention. International Standards for Phytosanitary Measures (ISPMs). - Rome: IPPC, Secretariat of the International Plant Protection Convention, 2024.
4. Закон Республики Казахстан «О карантине растений» от 11 февраля 1999 года № 344-І (с изменениями и дополнениями по состоянию на 01.01.2026 г.).
5. Приказ Министра сельского хозяйства Республики Казахстан «Об утверждении Правил по охране территории Республики Казахстан от карантинных объектов и чужеродных видов» от 29 июня 2015 года № 15-4/584 (зарегистрирован в Министерстве юстиции РК 24 ноября 2015 года № 12316; с изменениями и дополнениями по состоянию на 2025-2026 гг.).
6. Решение Совета Евразийской экономической комиссии «Об утверждении единых карантинных фитосанитарных требований, предъявляемых к подкарантинной продукции и подкарантинным объектам на таможенной границе и на таможенной территории Евразийского экономического союза» от 30 ноября 2016 года № 157 (с изменениями и дополнениями по состоянию на 2025-2026 гг.).
7. Исмаилов М. Г., Токкужаева А. Б. Влияние изменения климата на динамику распространения опасных вредителей сельскохозяйственных культур в регионах Центральной Азии и Казахстана // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. – 2022. – № 4. – С. 22–31.

8. Weiss, M., Jacob, F., Duveiller, G. Remote sensing for agricultural applications: A review // Remote Sensing of Environment. – 2020. – Vol. 236. – Art. 111402.
9. Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., et al. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated // Meteorologische Zeitschrift. – 2006. – Vol. 15, No. 3. – P. 259–263.

References

1. FAO. Climate change impacts on twenty major crop pests in Central Asia, the Caucasus and Southeastern Europe. Rome: FAO, 2021 – 148 p.
2. International Plant Protection Convention (IPPC). Plant Health & Food Security: Global partnership for protecting sustainable agriculture. – Rome: FAO/IPPC, 2023.
3. International Plant Protection Convention. International Standards for Phytosanitary Measures (ISPMs). - Rome: IPPC, Secretariat of the International Plant Protection Convention, 2024.
4. Закон Республики Казахстан «О карантине растений» от 11 февраля 1999 года № 344-І (с изменениями и дополнениями по состоянию на 01.01.2026 г.).
5. Приказ Министра сельского хозяйства Республики Казахстан «Об утверждении Правил по охране территории Республики Казахстан от карантинных объектов и чужеродных видов» от 29 июня 2015 года № 15-4/584 (зарегистрирован в Министерстве юстиции РК 24 ноября 2015 года № 12316; с изменениями и дополнениями по состоянию на 2025-2026 гг.).
6. Решение Совета Евразийской экономической комиссии «Об утверждении единых карантинных фитосанитарных требований, предъявляемых к подкарантинной продукции и подкарантинным объектам на таможенной границе и на таможенной территории Евразийского экономического союза» от 30 ноября 2016 года № 157 (с изменениями и дополнениями по состоянию на 2025-2026 гг.).
7. Ismailov M. G., Tokkuzhaeva A. B. Vliyaniye izmeneniya klimata na dinamiku rasprostraneniya opasnykh vreditel'ey sel'skohozyajstvennykh kul'tur v regionah Central'noy Azii i Kazahstana // Vestnik sel'skohozyajstvennoy nauki Kazahstana. – 2022. – № 4. – S. 22–31.
8. Weiss, M., Jacob, F., Duveiller, G. Remote sensing for agricultural applications: A review // Remote Sensing of Environment. – 2020. – Vol. 236. – Art. 111402.
9. Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., et al. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated // Meteorologische Zeitschrift. – 2006. – Vol. 15, No. 3. – P. 259–263.