

Оптимизация производства кукурузы путем применения цифровых и умных технологий

В. М. Шуганов[✉], А. Х. Шогенов, З. Ю. Кантиев, Р. В. Бижоев

Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2

Аннотация. В условиях постоянных глобальных вызовов, таких как рост численности населения, изменение климатических условий и ухудшение состояния почв, все более актуальной становится потребность в повышении урожайности зерновых культур на основе цифровой трансформации отрасли. Большое значение при этом имеет ведение умного земледелия на основе широкого применения цифровых и умных технологий, интеллектуальных робототехнических устройств, беспилотных летательных аппаратов для повышения объемов производства зерновой продукции и рационального управления ресурсами. Одним из основных направлений применения беспилотных летательных аппаратов является мультиспектральная съемка для эффективного мониторинга сельскохозяйственных угодий, предоставляющая производителям растениеводческой продукции подробную информацию о состоянии посевов, что особенно важно для оперативного и своевременного выполнения управленческих задач в области селекции и семеноводства зерновых культур.

Цель исследования – изучение особенностей мониторинга и дифференцированной защиты посевов кукурузы от пузырчатой головни с использованием цифровых и умных технологий.

Материалы и методы исследования. Материал исследования – систематический контроль посевов кукурузы на наличие болезни пузырчатой головни и последующее опрыскивание различными современными техническими средствами: традиционным и с помощью беспилотных летательных аппаратов (далее – БПЛА). Исследования проводили в полевых условиях на экспериментальном участке с.п. Опытное Терского муниципального района Кабардино-Балкарской Республики на посевах кукурузы в 2022–2024 гг. Оперативный мониторинг участков под кукурузу проводили с помощью БПЛА DJI Mavic 3M, а для опрыскивания посевов в различные годы применяли DJI AGRAS MG-1, DJI Agras T10.

Результаты. В данной статье представлены результаты исследований при варьировании технических параметров БПЛА для проведения мультиспектрального мониторинга и дифференцированного внесения средств защиты растений на посевах кукурузы. Использование БПЛА DJI Mavic 3M на высоте 150 м при автоматической регулировке скорости полета от 5 до 9 м/с позволяет проводить мультиспектральную съемку, обеспечивающую высокопроизводительное и качественное фенотипирование посевов зерновых культур. Дифференцированное внесение фунгицидов с помощью БПЛА DJI Agras T10 при концентрации рабочего раствора в количестве 75 % от рекомендуемой нормы обеспечивало повышение урожайности на опытных участках по сравнению с контрольным на 10,7–22,6 %.

Выводы. Оптимальная схема внесения препаратов на экспериментальных участках не только обеспечила равномерное покрытие растений и повышение эффективности борьбы с пузырчатой головней, но и способствовала снижению затрат на средства защиты растений, уменьшению химической нагрузки, сохранению экологического состояния почвы и окружающей среды.

Ключевые слова: цифровые и умные технологии, посеvy кукурузы, пузырчатая головня, беспилотные летательные аппараты, мультиспектральная съемка, мониторинг, опрыскивание

Поступила 02.09.2025, одобрена после рецензирования 29.09.2025, принята к публикации 03.10.2025

Для цитирования. Шуганов В. М., Шогенов А. Х., Кантiev З. Ю., Бижоев Р. В. Оптимизация производства кукурузы путем применения цифровых и умных технологий // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 5. С. 200–210. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-200-210

Original article

Optimizing corn production through digital and smart technologies

V.M. Shuganov[✉], A.Kh. Shogenov, Z.Yu. Kantiev, R.V. Bizhoviev

Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
2 Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia

Abstract. In the face of ongoing global challenges such as population growth, climate change, and soil degradation, the need to increase grain yields through digital transformation is becoming an urgent issue. Smart farming, through the widespread use of digital and intelligent technologies, robotics, and unmanned aerial vehicles, is crucial for increasing grain production and efficient resource management. One of the primary applications of unmanned aerial vehicles is multispectral imaging for effective agricultural monitoring, providing crop producers with detailed information on crop condition, which is particularly important for the prompt and timely implementation of management tasks related to grain crop breeding and seed production.

Aim. The paper aims to explore the monitoring and differentiated crop protection against common smut using digital and smart technologies.

Materials and methods. The study involves systematic monitoring for corn smut symptoms and subsequent spraying using various modern technologies, including traditional and unmanned aerial vehicles (UAVs). The research was conducted at an experimental site in the rural settlement of Opytnoye in the Tersky Municipal District, Kabardino-Balkarian Republic, during corn crops in 2022–2024. Operational monitoring of corn plots was conducted using a DJI Mavic 3M UAV, while the DJI AGRAS MG-1 and DJI Agras T10 were used for crop spraying in various years.

Results. This article presents the results of studies using different technical parameters of UAVs for multispectral monitoring and differentiated application of plant protection products to corn crops. Using a DJI Mavic 3M unmanned aerial vehicle (UAV) at an altitude of 150 m with automatic flight speed control from 5 to 9 m/s enables multispectral imaging, ensuring high-performance and high-quality phenotyping of grain crops. Variable-rate fungicide application using a DJI Agras T10 UAV at a working solution concentration of 75% of the recommended rate resulted in a 10.7–22.6% increase in yield in the experimental plots compared to the control plot.

Conclusion. The optimal fungicide application schedule in the experimental plots not only ensured uniform plant coverage and increased effectiveness in controlling common smut, but also reduced the cost of crop protection products, reduced chemical loads, and preserved the soil and environment.

Keywords: digital and smart technologies, corn crops, bladder smut, drones, multispectral imaging, monitoring, spraying

Submitted 02.09.2025, approved after reviewing 29.09.2025, accepted for publication 03.10.2025

For citation. Shuganov V.M., Shogenov A.Kh., Kantiev Z.Yu., Bizhoviev R.V. Optimizing corn production through digital and smart technologies. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 5. Pp. 200–210. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-5-200-210

ВВЕДЕНИЕ

За последние годы в России отмечается тренд в сторону повышения цифровизации производства зерна, что привело к значительному увеличению урожайности. Так, среднегодовая урожайность кукурузы в России в 1994–2003 гг. составляла 23,9 ц/га, в 2004–2013 гг. возросла до 38,4 ц/га, в 2014–2023 гг. достигла 53,5 ц/га, а в 2024 г. отмечалось снижение урожайности до 51,2 ц/га.

В Кабардино-Балкарской Республике валовой сбор зерновых и зернобобовых культур в 2024 г. достиг 1157 тыс. тонн, из которых 881,7 тыс. тонн, или 76,2 %, приходится на основную зерновую культуру региона – кукурузу. Урожайность зерновых по республике в 2024 г. превышала средние показатели по стране на 29,9 %. Для дальнейшего повышения объемов производства и успешного ведения селекции и семеноводства кукурузы необходимо использование современных цифровых технологий, в первую очередь обеспечивающих переход к интегрированной системе защиты посевов от сорняков, вредителей и болезней. К числу наиболее вредоносных заболеваний кукурузы в регионе относится пузырчатая головня, которую вызывает головневый гриб *Ustilago zeae* (Link) Unger, способный заразить культуру в любой период вегетации – от появления всходов до созревания. Болезнь способна поражать стебли, листья, междоузлия, султаны, початки и воздушные корни.

Возбудитель пузырчатой головни может перезимовать в растительных остатках, на поверхности почвы, в пахотном слое, а также на початках и семенах. Источники заражения сохраняют жизнеспособность до 4 лет, поэтому во всех районах возделывания наблюдается распространение пузырчатой головни, которая приводит к значительному снижению урожайности кукурузы: зеленой массы – на 25–50 %, зерна – на 50 % и более, то есть степень ущерба от болезни зависит от поражаемого органа.

Первичное заражение молодых растений кукурузы начинается при умеренно теплых температурах от +15°C до +25°C и наличии капельно-жидкой влаги, понижение температуры ниже +12°C приводит к прекращению процесса прорастания спор. Есть мнение, что наступление жаркой сухой погоды особенно благоприятно для прорастания спор и внедрения в покровную ткань растения [1]. Минимальная скорость роста заболевания отмечается при влажности около 60 %, колебания в сторону уменьшения или увеличения приводят к значительному увеличению скорости развития пузырчатой головни.

На побегах и узлах головня проявляется в форме шаровидно-клубневых вздутий диаметром до 15 см и более. На листьях вздутия образуются вдоль жилок, а на початках имеют удлиненную форму. На султанах (метелках) поражаются цветки, образуя пузыри.

Появление на молодых тканях кукурузы вздутий различного размера и желваков светлого и светло-серого оттенка свидетельствует о появлении заболевания. Позже они темнеют, покрываются сверху беловато-серой пленкой, она, подсыхая, трескается, и споры распыляются, вызывая вторичное заражение. В основном споры проникают внутрь растения через поврежденные (градобоем, сельскохозяйственной техникой или насекомыми-вредителями) молодые части растений [2].

Выделяют несколько причин распространения пузырчатой головни кукурузы:

- благоприятные климатические условия, когда высокая температура и избыточная влажность способствуют активизации пузырчатой головни кукурузы;
- при применении гербицидов в фазе развития 6–7 листьев кукуруза сильно угнетается, и споры гриба поражают ткани растения, в первую очередь стеблевой конус и початки, недостаточно укрытые обертками;
- распространение вредителей, например, хлопковая совка, луговой мотылек и др. способны разносить споры пузырчатой головни и других грибов, в основном через поврежденные участки молодых тканей споры проникают в растение и начинают развиваться;

- несоблюдение севооборота, болезнь чаще поражает поля, на которых кукуруза растет несколько лет подряд, так как происходит накопление в почве патогенов и создаются благоприятные условия для развития болезни;

- использование неустойчивых к заболеваниям гибридов и сортов.

Для предотвращения или значительного снижения заболевания необходимо соблюдать меры профилактики от пузырчатой головни: использование здорового семенного материала (после протравливания с помощью фунгицидов), применение устойчивых к болезни сортов кукурузы, высев в прогретую землю, глубокая зяблевая вспашка почвы осенью и др.

Вместе с тем очень важно проведение качественного мониторинга посевов для оперативного обнаружения заболевания на посевах кукурузы. Максимальная восприимчивость культуры к пузырчатой головне отмечается в период от выбрасывания метелок до молочной спелости. Поэтому самым подходящим моментом мониторинга для защиты посевов кукурузы от болезни считается период с момента появления 8-го листа и до выметывания метелки.

Своевременное проведение мониторинга снижает распространение и наносимый ущерб от заболевания, повышает объемы и качество урожая [3]. Благодаря этому можно проводить профилактические обработки или начать борьбу с болезнью в самом начале ее развития, что значительно повышает эффективность защиты.

В случае появления на посевах кукурузы пузырчатой головни следует незамедлительно приступить к борьбе с помощью фунгицидов. На рынке представлено достаточное количество различных препаратов для защиты от болезней, однако в приоритете должны быть содержащие несколько действующих веществ, применение которых повышает эффективность защиты посевов, а также исключает возможность возникновения резистентности к фунгициду.

Исследования ученых [4–6] по изучению развития, распространенности и вредоносности пузырчатой головни свидетельствуют о необходимости осуществления качественного мониторинга посевов, так как только систематическое получение оперативной информации о состоянии посевов позволит целенаправленно применять фунгициды для сохранения урожая. Оптимальным способом мониторинга посевов является использование беспилотных летательных аппаратов с мультиспектральными камерами, позволяющих не только своевременно обнаружить участки с заболеваниями, но и снизить внесение агрохимикатов при улучшении качества обработки [7–9].

Цель исследования – изучение особенностей мониторинга и дифференцированной защиты посевов кукурузы от пузырчатой головни с использованием цифровых и умных технологий.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материал исследования – систематический контроль посевов кукурузы на наличие болезни пузырчатой головни и последующее опрыскивание различными современными техническими средствами: традиционным и с помощью беспилотных летательных аппаратов (далее – БПЛА).

Исследования проводили в полевых условиях на экспериментальном участке с.п. Опытное Терского муниципального района Кабардино-Балкарской Республики на посевах кукурузы в 2022–2024 гг.

Ежегодно поле делили на 10 экспериментальных участков по 0,8–1,0 га с однородными почвенными характеристиками. Они были пронумерованы и зонально разделены под использование фунгицидов различных концентраций – 50 %, 75 % и 100 %. Достаточный объем данных для анализа обеспечивали обработкой 3 опытных участков при определенной концентрации.

Наряду с опытными были выделены контрольные участки, на которых не применялись средства защиты растений, они служили для оценки результатов и позволяли выявить разницу в состоянии посевов.

Почва экспериментальных участков – чернозем обыкновенный, карбонатный, тяжело-суглинистого гранулометрического состава. Мощность гумусового слоя 32–65 см. Содержание гумуса 3,1–3,3 %, подвижных форм Р – 2,1–2,3 и К – 32–35 мг/100 г (по Мачигину). Глубина залегания грунтовых вод 13–17 м.

Агротехника возделывания кукурузы соответствовала общепринятым параметрам технологии для условий степной зоны Кабардино-Балкарской Республики.

В данном исследовании оперативный мониторинг участков под кукурузу проводили с помощью БПЛА DJI Mavic 3М, а для опрыскивания посевов в различные годы применяли DJI AGRAS MG-1, DJI Agras T10. Кроме того, использовали мобильную станцию смешивания пестицидов, которая облегчала операцию по приготовлению в полевых условиях рабочих растворов с требуемой концентрацией.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Применение БПЛА в растениеводстве по сравнению с традиционной сельскохозяйственной техникой позволяет: создавать точные электронные карты полей; проводить инвентаризацию сельхозугодий; оценивать объемы работ и следить за их выполнением; контролировать всхожесть и вести оперативный мониторинг состояния посевов; прогнозировать урожайность; оценивать экологическое состояние обрабатываемых земель [10].

К более востребованным направлениям использования БПЛА в сельском хозяйстве относятся картографирование и мониторинг полей, а далее – внесение средств защиты растений на посевах. Необходимо отметить, что эффективность применения БПЛА значительно выше на высокорентабельных культурах и в тех случаях, когда использование наземной техники по тем или иным причинам невозможно.

В КБНЦ РАН начиная с 2020 г. накоплен определенный опыт по использованию БПЛА для опрыскивания посевов сельскохозяйственных культур от сорняков, болезней и вредителей. Применение агродрона при внесении пестицидов позволяет многократно сокращать расход рабочей жидкости на 1 га. Если при традиционном способе опрыскивания расход рабочей жидкости доходит до 200–300 л/га, то для БПЛА этот показатель составляет 7–10 л/га. Отмеченное преимущество объясняется наличием на штангах опрыскивателя распылителей, образующих супермелкодисперсные капли, которые благодаря воздушным потокам пропеллеров попадают на землю, а затем, отражаясь обратно, двигаются снизу вверх по стеблю растений, распределяя рабочий раствор и по нижней (внутренней) поверхности листьев, находящихся под разным углом [11]. Благодаря этому удастся значительно увеличивать количество капель рабочего раствора, попадающего на растение, что способствует определенному повышению качества опрыскивания.

При проведении исследований сбор данных о состоянии посевов кукурузы традиционным способом проводили путем визуального осмотра на наличие симптомов заболеваний. По сравнению с ним применение мультиспектрального мониторинга обеспечивает сбор информации о состоянии посевов в реальном времени, позволяет с высокой точностью разработать стратегию локального внесения агрохимикатов, способствует снижению всех затрат, себестоимости продукции и повышению урожайности [12]. Преимущество мониторинга на основе съемок, проведенных с БПЛА, состоит также в возможности оценки состояния посевов на наличие болезни еще до появления визуальных симптомов, что невозможно при помощи традиционного осмотра.

Большое значение для проведения качественного мониторинга по обнаружению поражения пузырчатой головни посевов кукурузы имеет период вегетации. Необходимо учитывать, что за 10 дней до выметывания и спустя 20 дней после этого кукуруза накапливает до 70–75 % органической массы, поэтому очень важно в этот период провести мониторинг посевов на наличие болезни. Мультиспектральная съемка экспериментальных участков с агродрона DJI Mavic 3M представлена на рис. 1 и 2.



Рис. 1. Съемка опытного участка 1

Fig. 1. Survey of experimental site 1

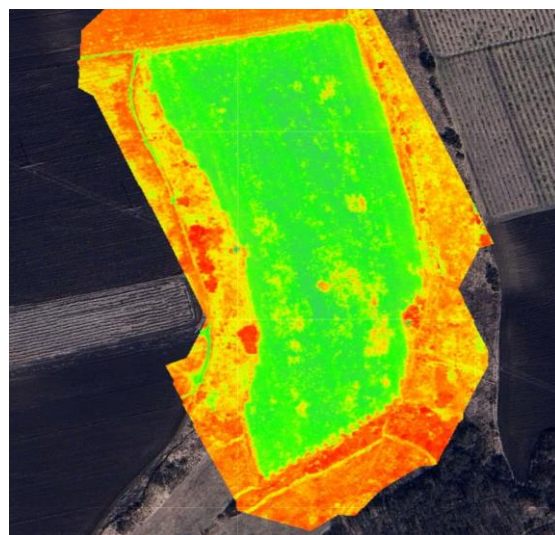


Рис. 2. Съемка опытного участка 2

Fig. 2. Survey of experimental site 2

На основе данных мониторинга, полученных при мультиспектральной съемке с помощью БПЛА, определяли индексы NDVI, GNDVI и NDRE, которые позволили точно оценить состояние растений на разных стадиях вегетации и разработать стратегию внесения средств защиты и удобрений. При этом были установлены зоны с пораженными болезнью участками, а также дефицитом питательных элементов, что облегчило принятие решения по научно обоснованному дифференцированному внесению средств защиты растений и удобрений.

В дальнейшем использование БПЛА для опрыскивания посевов кукурузы способствовало проведению качественного дифференцированного внесения средств защиты растений для борьбы с пузырчатой головней при одновременном снижении затрат на химикаты и уменьшении негативного воздействия на окружающую среду, что совпадает с данными, полученными другими исследователями [10]. Однако для эффективной борьбы с вредными объектами необходимо правильно подбирать скорость и высоту полета агродрона.

Защиту посевов кукурузы от пузырчатой головни в ходе проведения экспериментов обеспечивали путем применения следующих фунгицидов: Титул Трио ККР, Оптимо КЭ, Спирит СК. Концентрации препаратов на опытных участках составляли: 50 %, 75 %, 100 % от рекомендуемой нормы.

Параметры полета БПЛА при внесении фунгицидов варьировали в пределах:

- высота полета – 2 м, 2,5 м, 3 м;
- скорость полета – 4,1–7,0 м/с;
- ширина захвата – 4,8–5,2 м.

Технология проведения опрыскивания с помощью БПЛА включает: подготовку мобильной станции смешивания, калибровку дозирующих устройств, проверку качества воды и совместимости препаратов, заправку бака рабочим раствором согласно схеме экспери-

мента, настройку системы распыления для обеспечения равномерного покрытия. При выполнении полетов строго придерживались заданных маршрутов следования с учетом высоты и скорости полета с одновременным соблюдением и контролем параметров полета и распыления в режиме реального времени.

Последующий мониторинг результатов опрыскивания осуществляли проведением мультиспектральной съемки на 7-й, 14-й и 21-й день после обработки.

Изучаемые нами особенности схемы полета БПЛА для защиты посевов от пузырчатой головни путем подбора высоты и скорости, а также концентраций вносимого раствора представлены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры обработки фунгицидами посевов кукурузы БПЛА DJI AGRAS T-10

Table 1. Parameters for treating corn crops with fungicides using the DJI AGRAS T-10 UAV

Наименование препарата	Концентрация рабочего раствора, %	Высота полета, м	Скорость полета, м/с	Ширина захвата, м	Норма внесения рабочего раствора, л/га
Титул Трио ККР	50	2–3	4,1–7,0	4,8–5,2	7,50
Титул Трио ККР	75	2–3	4,1–7,0	4,8–5,2	11,25
Титул Трио ККР	100	2–3	4,1–7,0	4,8–5,2	15,00
Оптимо КЭ	50	2–3	4,1–7,0	4,8–5,2	7,50
Оптимо КЭ	75	2–3	4,1–7,0	4,8–5,2	11,25
Оптимо КЭ	100	2–3	4,1–7,0	4,8–5,2	15,00
Спирит СК	50	2–3	4,1–7,0	4,8–5,2	7,50
Спирит СК	75	2–3	4,1–7,0	4,8–5,2	11,25
Спирит СК	100	2–3	4,1–7,0	4,8–5,2	15,00

Опрыскивание экспериментальных участков фунгицидами проводили при высоте полета агродрона 2,0, 2,5 и 3,0 м, скорости от 4,1 до 7,0 м/с, ширине захвата около 5,0 м, что обеспечивало относительно равномерное распределение рабочего раствора по посевам кукурузы.

В процессе проведения многочисленных экспериментов оптимальные результаты обработки были получены при высоте полета 3,0 м, скорости 5,1–5,3 м/с, ширине захвата 5,0 м. Приведенная схема внесения фунгицидов с использованием БПЛА DJI AGRAS T-10 способствовала снижению пораженности растений кукурузы грибковыми заболеваниями на 70 %.

Осуществление полетов агродрона при высоте выше 3 м нецелесообразно, так как система опрыскивания агродрона DJI AGRAS T-10 не обеспечивает необходимое по мощности давление для качественной обработки. В результате не достигается требуемая мощность потока рабочего раствора для пробития стеблей кукурузы до земли и обратное отражение капель средств защиты с целью обработки нижней части листа растений. Помимо этого, увеличиваются снос и испарение рабочего раствора. Кроме того, изменение скорости полета БПЛА как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения указанных величин приводит к снижению качества опрыскивания.

За период проведения эксперимента (2022–2024 гг.) максимальная урожайность кукурузы установлена при обработке фунгицидами с концентрацией 75 % от нормы. Средняя урожайность кукурузы при опрыскивании посевов рабочим раствором препаратов данной концентрации за указанный период представлена в табл. 2.

Таблица 2. Средняя урожайность кукурузы за 2022–2024 гг.**Table 2.** Average corn yield for 2022–2024.

Наименование препарата	Оптимальная концентрация (%)	Урожайность культуры (ц/га)	Прибавка (ц/га)
Титул Трио ККР	75	44,5	8,2
Оптимо КЭ	75	40,2	3,9
Спирит СК	75	43,6	7,3
Без обработки	–	36,3	–

На опытных участках отмечается повышение урожайности с 1 га на 10,7–22,6 %. Применение препарата Титул Трио ККР обеспечило максимальную прибавку к урожайности по сравнению с контрольным участком на 8,2 ц/га и составило 44,5 ц/га, а при использовании фунгицидов Оптимом КЭ и Спирит СК соответственно 3,9, 7,3 ц/га и до 40,2 и 43,6 ц/га.

Результаты проведенных исследований подтверждают, что применение БПЛА DJI Mavic 3M для мультиспектрального мониторинга позволяет заблаговременно обнаруживать наличие сорняков, болезней, вредителей и создавать точные технологические карты полей для оперативного реагирования и предотвращения потери урожая с минимальными затратами.

Достигается это за счет более высокой точности внесения химикатов, благодаря чему сокращается расход удобрений и пестицидов без ущерба для посевов и повышается эффективность производства [13]. Кроме того, использование БПЛА для дифференцированного внесения агрохимикатов снижает затраты на пестициды и удобрения, повышает качество опрыскивания, экономическую эффективность и рентабельность производства зерна кукурузы.

Важное преимущество агродронов состоит в способности проводить работы даже после дождя и на самых труднодоступных участках, когда невозможно использовать традиционную технику для опрыскивания, а также в снижении негативного воздействия на экосистему в целом.

Выводы

Результаты исследований свидетельствуют об эффективности применения БПЛА для мультиспектрального мониторинга и дифференцированного внесения средств защиты растений от пузырчатой головни. Индексы NDVI, GNDVI и NDRE, рассчитанные на основе данных мультиспектральной съемки, позволяют выявить на посевах кукурузы проблемные зоны с пораженными болезнью участками и дефицитом питательных элементов, точно оценить состояние растений на разных стадиях их вегетации, что способствует научно обоснованному дифференцированному внесению химических препаратов.

Анализ полученных данных по борьбе с пузырчатой головней показал, что оптимальные результаты были достигнуты при концентрации препаратов 75 % от рекомендованной нормы и высоте полета агродрона 3 метра со скоростью 5,1–5,3 м/с с шириной захвата 5,0 м. Такие параметры полета БПЛА обеспечивали равномерное покрытие растений, снижение затрат на средства защиты растений и способствовали повышению урожайности на посевах кукурузы на 10,7–22,6 %.

Дальнейшие исследования в данном направлении по регулированию дозировки и интервала внесения химикатов с помощью БПЛА в зависимости от текущего состояния посевов могут быть использованы при создании систем адаптивного управления производства зерновых культур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иващенко В. Г. Пузырчатая головня кукурузы: этиология, патогенез болезни и проблема устойчивости (уточнение парадигмы) // Вестник защиты растений. № 4. 2011. С. 40–56. EDN: OKRIIR
2. Резвицкий Т. Х., Тикиджан Р. А., Позднякова А. В. и др. Пузырчатая головня на посевах кукурузы // The Scientific Heritage. 2021. № 58-1(58). С. 19–21. DOI: 10.24412/9215-0365-2021-58-1-19-21
3. Артохин К. С., Иващенко В. Г. Особенности диагностики фитофагов, патогенов и сорных растений в системе защиты посевов кукурузы (методологические и практические аспекты) // Вестник защиты растений. 2018. № 4(98). С. 5–12. DOI: 10.31993/2308-6459-2018-4(98)-5-12
4. Иващенко В. Г. Болезни кукурузы: этиология, мониторинг и проблемы сортоустойчивости: монография. Приложение к журналу «Вестник защиты растений». СПб, Пушкин: ФГБНУ ВИЗР. 2015. 286 с.
5. Буга С. Ф., Жуковский А. Г., Жердецкая Т. Н. Биологическое обоснование эффективности химической защиты кукурузы от болезней: рекомендации. Минск: Институт защиты растений. 2012. 54 с.
6. Свидинович Н. Л., Жуковский А. Г. Эффективность фунгицидов в защите кукурузы от пузырчатой головни и фузариоза початков в условиях Беларуси // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 2. С. 107–112. EDN: NOLRNT
7. Mohidem N.A., Che'Ya N.N., Juraimi A.S. et al. How can unmanned aerial vehicles be used for detecting weeds in agricultural fields? // Agriculture. 2021. № 11(10). Article ID: 1004. DOI: 10.3390/agriculture11101004
8. Nagothu S.K., Anitha G., Siranthini B. et al. Weed detection in agriculture crop using unmanned aerial vehicle and machine learning // Materialstoday: proceedings. 2023. DOI: 10.1016/j.matpr. 2023.03.350
9. Librán-Embid F., Klaus F., Tscharncke T., Grass I. Unmanned aerial vehicles for biodiversity-friendly agricultural landscapes – A systematic review // Science of The Total Environment. 2020. Vol. 732. Article ID: 139204. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139204
10. Зубарев Ю. Н., Фомин Д. С., Чащин А. Н., Заболотнова М. В. Использование беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. № 2. 2019. С. 47–51. DOI: 10.7242/2658-705X/2019.2.5
11. Шуганов В. М., Лешкенов А. М., Шогенов А. Х., Кантиев З. Ю. Разработка перспективного метода опрыскивания для производства гибридных семян кукурузы // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 6(110). С. 236–248. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-236-248
12. Методические рекомендации по применению средств защиты растений с использованием беспилотных авиационных систем. М.: Россельхозцентр, 2021. 150 с.
13. Ram B.G., Oduor P., Igathinathane C. et al. A systematic review of hyperspectral imaging in precision agriculture: Analysis of its current state and future prospects // Computers and Electronics in Agriculture. 2024. Vol. 222. P. 109037. DOI: 10.1016/j.compag.2024.109037

REFERENCES

1. Ivaschenko V.G. Common smut of corn: etiology, pathogenesis of the disease and the problem of resistance (refinement of the paradigm). *Plant Protection News*. No. 4. 2011. Pp. 40–56. EDN: OKRIIR. (In Russian)
2. Rezvitsky T.Kh., Tikidzhan R.A., Pozdnyakova A.V. et al. Common smut on corn crops. *The Scientific Heritage*. 2021. No. 5-1(58). Pp. 19–21. DOI: 10.24412/9215-0365-2021-58-1-19-21

3. Artokhin K.S., Ivaschenko V.G. Features of the diagnosis of phytophagous, pathogens and weeds in the corn crop protection system (methodological and practical aspects). *Plant Protection News*. 2018. No. 4(98). Pp. 5–12. DOI: 10.31993/2308-6459-2018-4(98)-5-12. (In Russian)
4. Ivaschenko V.G. Corn diseases: etiology, monitoring, and problems of variety resistance. *Suppl. Plant Protection News*. St. Petersburg: Pushkin: FGBNU VIZR. 2015. 286 p. (In Russian)
5. Buga S.F., Zhukovsky A.G., Zherdetskaya T.N. *Biologicheskoye obosnovaniye effektivnosti khimicheskoy zashchity kukuruzy ot bolezney: rekomendatsii* [Biological substantiation of the effectiveness of chemical protection of corn from diseases: recommendations]. Minsk: Institute zashchity rasteniy, 2012. 54 p. (In Russian)
6. Svidunovich N.L., Zhukovsky A.G. Efficiency of fungicides in protecting corn against common smut and fusarium ear blight in Belarus. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skohozyajstvennoy akademii* [Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy]. 2021. No. 2. Pp. 107–112. EDN: NOLRNT. (In Russian)
7. Mohidem N.A., Che'Ya N.N., Juraimi A.S. et al. How can unmanned aerial vehicles be used for detecting weeds in agricultural fields? *Agriculture*. 2021. No. 11(10). Article ID: 1004. DOI: 10.3390/agriculture11101004
8. Nagothu S.K., Anitha G., Siranthini B. et al. Weed detection in agriculture crop using unmanned aerial vehicle and machine learning. *Materialstoday: proceedings*. 2023. DOI: 10.1016/j.matpr. 2023.03.350
9. Librán-Embíd F., Klaus F., Tschardt T., Grass I. Unmanned aerial vehicles for biodiversity-friendly agricultural landscapes – A systematic review. *Science of the Total Environment*. 2020. Vol. 732. Article ID: 139204. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139204
10. Zubarev Yu.N., Fomin D.S., Chashchin A.N., Zabolotnova M.V. Use of unmanned aerial vehicles in agriculture. *Bulletin of the Perm Federal Research Center*. No. 2. 2019. Pp. 47–51. DOI: 10.7242/2658-705X/2019.2.5. (In Russian)
11. Shuganov V.M., Leshkenov A.M., Shogenov A.Kh., Kantiev Z.Yu. Development of a promising spraying method for the production of hybrid corn seeds. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 6(110). Pp. 236–248. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-236-248. (In Russian)
12. *Metodicheskiye rekomendatsii po primeneniyu sredstv zashchity rasteniy s ispol'zovaniyem bespilotnykh aviatsionnykh sistem* [Methodological recommendations for the application of plant protection products using unmanned aerial systems]. Moscow: Rossel'khoztsentr, 2021. 150 p. (In Russian)
13. Ram B.G., Oduor P., Igathinathane C. et al. A systematic review of hyperspectral imaging in precision agriculture: Analysis of its current state and future prospects. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2024. Vol. 222. P. 109037. DOI: 10.1016/j.compag.2024.109037

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without external funding.

Информация об авторах

Шуганов Владислав Миронович, д-р с.-х. наук, зав. научно-инновационным центром «Интеллектуальные системы и среды производства и потребления продуктов питания», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

vmshuganov@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5189-998X>, SPIN-код: 6767-7554

Шогенов Анзор Хасанович, канд. с.-х. наук, науч. сотр. лаборатории «Интеллектуальные распределительные сельскохозяйственные системы» научно-инновационного центра «Интеллектуальные системы и среды производства и потребления продуктов питания», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

a.vonegosh@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1184-5397>, SPIN-код: 5996-3532

Кантиев Заурбек Юрьевич, мл. науч. сотр. лаборатории «Сельскохозяйственной робототехники» научно-инновационного центра «Интеллектуальные системы и среды производства и потребления продуктов питания», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

kantvako@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4997-1177>

Бижоев Руслан Валерьевич, науч. сотр. лаборатории «Сельскохозяйственная робототехника» научно-инновационного центра «Интеллектуальные системы и среды производства и потребления продуктов питания», Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук;

360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2;

bizhoeva49@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5408-3006>, SPIN-код: 4821-0152

Information about the authors

Vladislav M. Shuganov, Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Scientific and Innovation Center “Intelligent Systems and Environments of Food Production and Consumption”, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

2 Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;

vmshuganov@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5189-998X>, SPIN-code: 6767-7554

Anzor Kh. Shogenov, Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, Laboratory of Intelligent Distribution Agricultural Systems, Scientific and Innovation Center “Intelligent Systems and Environments of Food Production and Consumption”, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

2 Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;

a.vonegosh@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1184-5397>, SPIN-code: 5996-3532

Zaurbek Yu. Kantiev, Junior Researcher, Agricultural Robotics Laboratory, Scientific and Innovation Center “Intelligent Systems and Environments of Food Production and Consumption”, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

2 Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;

kantvako@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4997-1177>

Ruslan V. Bizhiev, Researcher, Agricultural Robotics Laboratory, Scientific and Innovation Center “Intelligent Systems and Environments of Food Production and Consumption”, Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

2 Balkarov street, Nalchik, 360010, Russia;

bizhoeva49@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5408-3006>, SPIN-code: 4821-0152