



Научная статья

УДК 004:631.58

doi: 10.55186/25876740_2025_68_2_225

ДРОНЫ — КАК ЭЛЕМЕНТЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМЕ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Д.В. Ларин, А.В. Кудрявцев, А.В. Виноградов, В.В. Голубев

Тверская государственная сельскохозяйственная академия, Тверь, Россия

Аннотация. Данная статья посвящена изучению элементов точного земледелия. Современные аграрии под точным земледелием понимают систему управления продуктивностью сельскохозяйственных культур, которая строится на взаимосвязи аэрокосмических, информационных и коммуникационных технологий. Цель исследования состояла в оценке использования беспилотных летательных аппаратов, или дронов, при выращивании сельскохозяйственных культур в системе точного земледелия. Объектами исследования выступают агротехнологические приемы, выполняемые дронами при управлении человеком через программное обеспечение. Методом исследования являлся факторный анализ, основанный на изучении взаимосвязей между значениями переменных. Исследования проводилось на основании литературных данных, опубликованных отечественными и зарубежными исследователями. Научная новизна исследования сводится к сбору и анализу основных видов агротехнологических приемов, выполняемых при помощи дронов для повышения эффективности растениеводческого производства и роста урожайности сельскохозяйственных культур. Перед разработчиками сельскохозяйственных беспилотных летательных аппаратов стоит задача по техническому обеспечению использования группы дронов с различными характеристиками для обследования, обработки и других сельскохозяйственных работ. В последние годы точное земледелие набирает популярность у зарубежных фермеров, что подтверждается опросами, которые показали увеличение заинтересованных респондентов на 50% в 2018 г. по сравнению с 2005 г. Дроны, используемые в сельскохозяйственном производстве, повышают эффективность точного земледелия благодаря оснащению камерами высокой точности, а также датчиками для определения влажности и атмосферного давления. С помощью этих приборов оценивают агрофизические критерии почвы с целью определения качественных характеристик сельскохозяйственных культур и прогноза их урожайности. Проведенный анализ данных отечественных исследователей показал рост урожайности в системе точного земледелия по сравнению с традиционными способами возделывания сельскохозяйственных культур, который характеризовался диапазоном 42-73%. Одним из предназначений использования дронов в точном земледелии является снижение доли ручного труда при выполнении агротехнологических приемов, а именно внесении минеральных удобрений и обработки химическими препаратами (гербицидами, инсектицидами и фунгицидами). Одной из задач, стоящей перед разработчиками сельскохозяйственных дронов, является скооперировать работу группы дронов с различными характеристиками для выполнения агротехнологических приемов выращивания сельскохозяйственных культур в системе точного земледелия.

Ключевые слова: элементы точного земледелия, традиционное земледелие, дроны, эффективность, мониторинг, внесение удобрений, обработка пестицидами

Original article

DRONES AS ELEMENTS OF INFORMATION TECHNOLOGY IN PRECISION FARMING SYSTEM

D.V. Larin, A.V. Kudryavtsev, A.V. Vinogradov, V.V. Golubev

Tver State Agricultural Academy, Tver, Russia

Abstract. This article is devoted to the study of elements of precision agriculture. Modern agrarians understand precision farming as a system of crop productivity management, which is based on the interrelation of aerospace, information and communication technologies. The purpose of the study was to evaluate the use of unmanned aerial vehicles or drones in the cultivation of crops in the system of precision agriculture. The objects of the study are agro-technological techniques performed by drones under human control through software. The research methods were factor analysis based on the study of relationships between the values of variables. The research was conducted on the basis of literature data published by domestic and foreign researchers. The scientific novelty of the study is reduced to the collection and analysis of the main types of agro-technological techniques performed with the help of drones to improve the efficiency of crop production and increase crop yields. The developers of agricultural drones are facing the challenge to technically support the use of a group of drones with different characteristics for surveying, processing and other agricultural work. In recent years, precision farming has been gaining popularity among overseas farmers, as evidenced by surveys that showed an increase in interested respondents by 50% in 2018 compared to 2005. Drones used in agricultural production enhance the efficiency of precision farming by being equipped with high precision cameras, as well as sensors to detect humidity and atmospheric pressure. These devices are used to assess soil agrophysical criteria in order to determine the quality characteristics of crops and predict their yields. The conducted analysis of the data of domestic researchers showed an increase in yields in the system of precision agriculture compared to traditional methods of cultivation of crops, characterised by a range of 42-73%. One of the purposes of using drones in precision farming is to reduce the share of manual labour in the performance of agro-technological techniques, namely the application of mineral fertilizers and treatment with chemical preparations (herbicides, insecticides and fungicides). One of the tasks facing the developers of agricultural drones is to cooperate the work of a group of drones with different characteristics to perform agrotechnological methods of growing crops in the system of precision farming.

Keywords: precision farming element, conventional farming, drones, efficiency, monitoring, fertiliser application, pesticide treatment

Введение. Одним из современных подходов ведения сельского хозяйства является точное земледелие, который основан на применении современных информационных технологий и геопространственной информации с целью оптимизации технологических процессов [1]. Основной принцип точного земледелия сводится к анализу пространственной неоднородности сельскохозяйственных угодий. При помощи современных навигационных спутниковых устройств собираются данные о содержании влаги в почве, количестве зеленой массы, о текстуре растений и другие характеристики.

В системе точного земледелия данные, полученные с полей, трансформируются в географические информационные системы, в которых формируются карты полей с отображением плодородия, влажности, рельефа и особенностей микроклимата [2]. К основным достоинствам точного земледелия относится снижение издержек и увеличение прибыльности производства сельскохозяйственной продукции, сокращение внесения химических удобрений и препаратов, что положительно влияет на экологическую обстановку в условиях хозяйства, а также способствует получению качественной продукции

с целью улучшения качества и безопасности продуктов питания. Среди недостатков следует отметить, что точное земледелие требует существенных инвестиций для приобретения оборудования, программного обеспечения и обучения сотрудников, а также эффективность системы взаимосвязана с качеством и надежностью применяемых современных технологий [3].

Научно-технологический прогресс позволил использовать в сельском хозяйстве беспилотные летательные аппараты, или дроны, для сбора данных, детализирования аэрофотосъемки угодий с картированием выявленных

изменений [4]. Поэтому дроны можно с уверенностью назвать элементом точного земледелия, которые представлены на рисунке 1.

Основная часть. Обследование сельскохозяйственных угодий дронами проводится автоматически при помощи камер с высоким разрешением. Они способны подлетать к анализируемому участку, опускаясь на высоту до 1 м и фотографировать его. После облета путем использования специального программного обеспечения с использованием искусственного интеллекта осуществляется обработка полученной информации и фотографий, на основании которой выполняется оценка состояния посевов, определяется количество и видовая принадлежность сорной растительности и разрабатываются рекомендации по выращиванию анализируемой сельскохозяйственной культуры [5].

На современном этапе развития точного земледелия дроны, кроме камер, оснащают датчиками влажности и барометрами [6], при помощи которых проводят целый ряд задач растениеводческого назначения. Соответственно в точном земледелии дроны применяют для решения следующих задач, которые представлены на рисунке 2.

Для точного земледелия характерно применение дронов в качестве управления агротехнологическими мероприятиями по выращиванию сельскохозяйственных культур, приводящие к повышению рентабельности растениеводческого хозяйства, так как отмечается рост урожайности выращиваемых полевых культур, а также снижение затрат и отрицательного воздействия на природную среду. Поэтому дроны выступают как ценный актив в современном сельском хозяйстве.

Е.В. Труфляк и его коллегами [7] изучены преимущества использования дронов в точном земледелии для основных сельскохозяйственных культур, которые показали увеличение урожайности в пределах 42-73% (табл.).

Среди зарубежных фермеров отмечается рост популярности использования дронов при выращивании сельскохозяйственных культур. Так, проведенный в 2005 г. опрос [8] показал отрицательное отношение 75% респондентов к точному земледелию. При этом повторное анкетирование фермеров в 2018 г. позволило установить противоположную картину, а именно большинство респондентов не только положительно относятся к технологиям точного земледелия, но и применению дронов [9]. При помощи дронов они более точно планируют агротехнологические мероприятия, которые строятся на сборе и обработке данных, полученных во время обследования посевов. Так,

например, выполняется расчет нормы удобрений и пестицидов с учетом потребностей определенных участков полей. Соответственно точное применение агротехнологических ресурсов существенно снижает производственные и экологические затраты, которые связаны с агрохимическими мероприятиями, позволяющие увеличить рентабельность производства и урожайность сельскохозяйственных культур [10]. Согласно прогнозу китайской компании Eagle Brother, производящей дроны (беспилотные летательные аппараты) для

сельскохозяйственной отрасли, в 2025 г. рынок сельскохозяйственных дронов увеличится в эквиваленте до 5,2 млрд долл. [11], что объясняется преимуществами дронов перед спутниками и пилотируемыми летальными аппаратами. Несмотря на то, что в традиционном земледелии возможно применение самолетов, вертолетов, спутников для проведения наземных работ, применение этих технологий часто обладают ограничениями, такими как низкая частота контроля, низкая мобильность, низкое разрешение и высокая стоимость.

СБОР ПОЛЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ О ХОЗЯЙСТВЕ, ПОЛЕ, КУЛЬТУРЕ РЕГИОНЕ

АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ И ВЫРАБОТКА РЕШЕНИЙ

РЕАЛИЗАЦИЯ РЕШЕНИЙ ПО ПРОВЕДЕНИЮ РАЗЛИЧНЫХ АГРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ: ВНЕСЕНИЕ УДОБРЕНИЙ, ХИМИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ

Рисунок 1. Дроны — компонент точного земледелия
Figure 1. Drones are a component of precision farming

МОНИТОРИНГ ПОСЕВОВ ДЛЯ ПРИНЯТИЕ ОБОСНОВАННОГО РЕШЕНИЯ ПО УПРАВЛЕНИЮ ПОСЕВАМИ И СВОЕВРЕМЕННО ПРИНИМАТЬ КОРРЕКТИРУЮЩИЕ МЕРЫ

АНАЛИЗ ПОЧВЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКЕ ПЛАНОВ УПРАВЛЕНИЯ КОНКРЕТНЫМ УЧАСТКОМ И ОПТИМИЗАЦИИ ОБРАБОТОК ПЕСТИЦИДАМИ И ОРОШЕНИЯ

ВНЕСЕНИЕ УДОБРЕНИЙ С ПЕРЕМЕННОЙ НОРМОЙ, ДРОНЫ МОГУТ ОСНАЩЕНЫ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ, ДЛЯ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОГО ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ, ПЕСТИЦИДОВ И ГЕРБИЦИДОВ

ПОСАДКА И ПОСЕВ, НЕКОТОРЫЕ ДРОНЫ МОГУТ БЫТЬ ОСНАЩЕНЫ ПОСЕВНЫМИ СИСТЕМАМИ ДЛЯ ПОСАДКИ И ПОСЕВА С БОЛЬШЕЙ ТОЧНОСТЬЮ И ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ

ОЦЕНКА УРОЖАЙНОСТИ В ТЕЧЕНИЕ ВЕГЕТАЦИИ ПРОИЗВОДИТСЯ СБОР ДАННЫХ О РАЗВИТИИ КУЛЬТУР ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ПРОГНОЗОВ УРОЖАЙНОСТИ ДЛЯ ОБОСНОВАННОГО РЕШЕНИЯ О СРОКАХ СБОРА УРОЖАЯ И МАРКЕТИНГОВЫХ СТРАТЕГИЯХ

Рисунок 2. Задачи дронов в точном земледелии
Figure 2. Drone tasks in precision farming

Таблица. Урожайность сельскохозяйственных культур, выращенных по системе точного земледелия
Table. Yield of crops grown according to the precision farming system

Культура	Традиционное земледелие			Точное земледелие			Разница стоимости урожая, %
	урожайность, ц/га	валовой сбор, млн т	стоимость урожая, млн руб.	урожайность, ц/га	валовой сбор, млн т	стоимость урожая, млн руб.	
Зерновые (кроме пшеницы) и бобовые	13,4	6,7	81959,54	23,2	10,7	130395,27	159,10
Пшеница	12,6	15,9	296650,28	17,3	24,9	474972,11	160,11
Картофель	235,1	5,8	245623,19	305,6	7,4	312281,56	127,14
Масличные культуры	10,2	2,9	27370,20	14,5	3,8	35257,57	128,82
Подсолнечник (семена)	12,3	1,4	67260,38	17,9	2,3	104605,73	155,52
Овощи открытого и закрытого грунта	280,6	5,8	617846,48	420,4	7,2	767735,53	124,26
Сахарная свекла	410,5	1,1	97376,40	620,8	1,6	141636,80	145,45
Хлопок	27,8	0,5	13546,36	41,6	0,8	22077,39	162,98
Итого	-	40,1	1447632,83	-	58,7	1988961,96	-



Следовательно, применение дронов по сравнению с другими летательными аппаратами, которые используются в традиционном сельскохозяйственном производстве, обладают следующими преимуществами. Во-первых, повышение безопасности во время использования дронов, особенно при опрыскивании в горных районах или угодий на расчлененном рельефе, где требуется сложное ручное управление для коррекции высоты воздушного аппарата при достижении эффективности опрыскивания. Во-вторых, увеличение точности опрыскивания, которое выполняется четко над посевами на небольшой высоте и с малой скоростью перемещения, благодаря этому отмечается снижение дрейфа. В-третьих, гибкость и адаптивность дронов к неблагоприятным метеорологическим условиям увеличивается, поскольку эффективность традиционных самолетов и наземных опрыскивателей сравнительно ниже. Также отмечается экологическая составляющая, которая проявляется в точном опрыскивании, направленная на оптимизацию объема рабочего раствора пестицидов и снижение химического стока, приводя к загрязнению пахотного горизонта.

Повышение эффективности применения дронов в точном земледелии направлено на снижение доли ручного труда в управлении и повышении качества мониторинговых исследований. Для этого разрабатывают специальные методы, которые должны включать следующие этапы [12, 13] (рис.3).

При проведении защитных мероприятий во время выращивания сельскохозяйственных культур, обработка химическими препаратами, направленная на борьбу с патогенами

и сорняками, играет существенное значение. Опрыскивание традиционным способом с использованием навесного, монтируемого на тракторы или ручного оборудования, требует высокой трудоемкости, характеризуется неравномерностью во время обработки посевов, что взаимосвязано с нерациональным использованием химических препаратов и нанесением высокого вреда окружающей среде. Соответственно изложенные вопросы вызывают потребность в разработке и внедрении в сельскохозяйственное производство опрыскивания сельскохозяйственных культур с использованием дронов, что представляет собой эффективный и точный способ защиты растений от патогенов и сорняков.

Отечественными исследователями активно изучаются методы оптимизации опрыскивания сельскохозяйственных культур, выращиваемых на значительных площадях, с использованием группы дронов, координация которых выполняется с наземной станции управления. При помощи наземной станции выполняется запуск, дозаправка и замена батарей. Комплексное управление перемещением дронов обеспечивает непрерывную деятельность на фоне минимизирования простоев.

Задача заключается в повышении производительности обработки площади всех угодий с оптимизацией продолжительности полета, расхода энергии и равномерного распределения рабочего раствора химических средств защиты сельскохозяйственных растений.

Для налаживания приемов опрыскивания с применением нескольких дронов необходимо решить задачи, среди которых можно выделить следующие (рис. 4).

Представленные задачи решаются путем разработки алгоритмов, строящихся на сложном взаимодействии нескольких дронов и динамической наземной станции управления для реализации поставленных целей на фоне имеющихся ограничений.

В современных производственных условиях в работах зарубежных и отечественных исследователей рассматриваются вопросы по использованию нескольких дронов для управления наземной техникой с целью максимального покрытия сельскохозяйственных угодий. Анализ этих работ показал, что воплощение в реальность путей решения использования нескольких дронов, объединенных в группу, достигается при максимальном покрытии. Несмотря на то, что алгоритм равномерности покрытия с точки зрения разработки не сложен, но на практике возникают проблемы, которые приходится решать нетривиальным способом. Среди таких проблем необходимо выделить полеты группы дронов над сельскохозяйственными угодьями не только различной формы, но и с расчлененной местностью. Также взлет и посадка дрона при проведении мониторинговых облетов смещаются и определяются в зависимости от погодных условий и возделываемой растительности, произрастающей на исследуемых участках. Также беспилотные летательные аппараты отличаются индивидуальными характеристиками, в том числе технического характера. Соответственно использование нескольких дронов с разными техническими критериями, объединенные в группу, основывается на управлении ими при помощи подвижной платформы для покрытия максимальной площади изогнутого угодья, на котором выращиваются сельскохозяйственные культуры. Эти вопросы формируются во время мониторинга сельскохозяйственных угодий при внесении минеральных удобрений или опрыскивании химическими веществами при использовании дронов.

Заключение. В современном сельскохозяйственном производстве одними из помощников агрономических мероприятий являются беспилотные летательные аппараты, которые принято называть дронами. Ведение сельского хозяйства с использованием технологий точного земледелия строится на точном расчете потребности растений в минеральных и органических удобрениях, а также химических средствах защиты растений, с целью нанесения минимального экологического вреда окружающей среде и сотрудникам сельскохозяйственных предприятий. Применение дронов для отдельных агрономических приемов не только существенно помогает экономить количество распыляемых веществ в диапазоне 15-25%, но и увеличить качественные характеристики опрыскивания. В рамках данной работы определена область использования дронов в точном земледелии, а именно картография, исходные данные для рекультивации земель, различные виды мониторинга, фитосанитарный контроль, опрыскивание пестицидами и прогноз урожайности сельскохозяйственных культур (рис. 5).

Таким образом, применение дронов является элементом точного земледелия, которое в современных растениеводческих условиях направлено на повышение рентабельности хозяйства, роста урожайности сельскохозяйственных культур на фоне улучшения качественных характеристик получаемой продукции, а также снижение негативного влияния от химических

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КЛАССИФИКАЦИИ И ИДЕНТИФИКАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТОМ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПОКРЫТИЯ ЗАДАННОЙ ТЕРРИТОРИИ ОДНИМ УСТРОЙСТВОМ ИЛИ ГРУППОЙ УСТРОЙСТВ

Рисунок 3. Методы, направленные на снижение ручного труда в точном земледелии
Figure 3. Methods aimed at reducing manual labor in precision farming

ПЛАНИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИИ - ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНЫХ МАРШРУТОВ ПОЛЕТА ДЛЯ КАЖДОГО ДРОНА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛНОГО ПОКРЫТИЯ ПОЛЯ ПРИ МИНИМИЗАЦИИ ПЕРЕКРЫТИЙ И СОКРАЩЕНИИ ОБЩЕГО ВРЕМЕНИ ПОЛЕТА

КООРДИНАЦИЯ - УПРАВЛЕНИЕ КООРДИНАЦИЕЙ НЕСКОЛЬКИХ ДРОНОВ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ, ЧТОБЫ ИЗБЕЖАТЬ СТОЛКНОВЕНИЙ, ОБМЕНИВАТЬСЯ ИНФОРМАЦИЕЙ И ЭФФЕКТИВНО РАСПРЕДЕЛЯТЬ ЗАДАЧИ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАЗЕМНОЙ СТАНЦИИ УПРАВЛЕНИЯ - ВКЛЮЧЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ НАЗЕМНОЙ СТАНЦИИ УПРАВЛЕНИЯ В ПРОЦЕСС ОПТИМИЗАЦИИ С УЧЕТОМ ТАКИХ ФАКТОРОВ, КАК ДОЗАПРАВКА, ЗАМЕНА БАТАРЕЙ И ОБСЛУЖИВАНИЕ ДРОНОВ

УЧЕТ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, НАПРИМЕР ВЕТРОВЫЕ УСЛОВИЯ, КОТОРЫЕ МОГУТ ВЛИЯТЬ НА ПРОЦЕСС РАСПЫЛЕНИЯ И ВОЗДЕЙСТВОВАТЬ НА ОПТИМАЛЬНЫЕ ТРАЕКТОРИИ ПОЛЕТА И СХЕМЫ РАСПЫЛЕНИЯ

Рисунок 4. Решаемые задачи группой дронов
Figure 4. Tasks solved by a group of drones





Рисунок 5. Агротехнические приемы, выполняемые при помощи дронов, в сравнении с традиционным земледелием
 Figure 5. Agrotechnical techniques performed using drones in comparison with traditional agriculture

веществ на окружающую среду. На сегодняшний день перед аграриями стоит задача научиться использовать группу дронов, различающихся по техническим характеристикам, для мониторинга или обработки сельскохозяйственных угодий большой площади и с расположением в расчлененных рельефных условиях.

Список источников

1. Акинчин А.В., Левшаков Л.В., Линков С.А. и др. Информационные технологии в системе точного земледелия // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 9. С. 16-21.
2. Беленков А.И., Тюмаков А.Ю., Сабо У.М. Реализация элементов точного земледелия в полевом опыте // Земледелие. 2015. № 3. С. 37-39.
3. Еремеева Н.А. Информационные технологии в точном земледелии // Материалы Всероссийской конференции молодых исследователей «Аграрная наука — 2022». М.: РГАУ — МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. С. 581-583.
4. Zubarev Yu.N., Fomin D.S., Chashchin A.N. et al. Использование беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. 2019. № 2. С. 47-51. doi: 10.7242/2658-705X/2019.2.5
5. Трубицын Н.В., Таркивский В.Е., Белик М.А. Мониторинг сельскохозяйственных посевов с помощью беспилотных летательных аппаратов // Евразийский союз ученых. 2018. № 11-2 (56). С. 26-31.
6. Mogili, U.R., Deepak, B. (2018). Review on application of drone systems in precision agriculture. *Procedia Computer Science*, vol. 133, p. 502-509.
7. Труфляк Е.В., Курченко Н.Ю., Дайбова Л.А. и др. Мониторинг и прогнозирование научно-технологического развития АПК в области точного сельского хозяйства, автоматизации и роботизации. Краснодар: КубГАУ, 2017. 199 с.

8. Adrian, A.M., Norwood, S.H., Mask, P.L. (2005). Producers' perceptions and attitudes toward precision agriculture technologies. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 48, no. 3, pp. 256-271.
9. Debangshi, U. (2021). Drone -Applications in Agriculture. *Chronicle of Bioresource Management*, no. 5 (3), pp. 115-120.
10. Mukhamediev, R.I., Symagulov, A., Kuchin, Y. et al (2021). Review of some applications of unmanned aerial vehicles technology in the resource-rich country. *Applied Science*, vol. 11, no. 21, pp. 10171.
11. Zubarev N.Yu., Urasova A.A., Glezman L.V. et al. (2021). Review of some applications of unmanned aerial vehicles technology in the resource-rich country. *Applied Science*, vol. 11, no. 21, pp. 10171.
12. Qiao, L., Tang, W., Gao, D. et al. (2022). UAV-based chlorophyll content estimation by evaluating vegetation index responses under different crop coverages. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 196, no. 6, p. 106775.
13. Vazquez-Carmona, E.V., Vasquez-Gomez, J.I., Herrera-Lozada, J.C. et al. (2022). Coverage path planning for spraying drones. *Computers and Industrial Engineering*, vol. 168, p. 108125.
14. Кудрявцев Д.В., Магдин А.Г., Горбунов А.А. и др. Применение сельскохозяйственного беспилотного летательного аппарата для обработки сельскохозяйственных культур // Агротехника и энергообеспечение. 2021. № 2 (31). С. 37-44.

References

1. Akinchin, A.V., Levshakov, L.V., Linkov, S.A. i dr. (2017). Informatsionnye tekhnologii v sisteme tochnogo zemledeliya [Information technology in precision farming]. *Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii* [Vestnik of Kursk State Agricultural Academy], no. 9, pp. 16-21.
2. Belenkov, A.I., Tyumakov, A.Yu., Sabo, U.M. (2015). Realizatsiya ehlementov tochnogo zemledeliya v polevom

opyte [Implementation of precision farming elements in a field experiment]. *Zemledelie*, no. 3, pp. 37-39.

3. Eremeeva, N.A. (2022). Informatsionnye tekhnologii v tochnom zemledelii [Information technologies in precision agriculture]. *Materiyaly Vserossiiskoi konferentsii molodykh issledovatelei «Agrarnaya nauka — 2022»* [Proceedings of the All-Russian conference of young researchers "Agrarian science — 2022"]. Moscow, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, pp. 581-583.
4. Zubarev, Yu.N., Fomin, D.S., Chashchin, A.N. i dr. (2019). Ispol'zovanie bespilotnykh letatel'nykh apparatov v sel'skom khozyaistve [Use of unmanned aerial vehicles in agriculture]. *Vestnik Permskogo federal'nogo issledovatel'skogo tsentra* [Perm Federal Research Centre journal], no. 2, pp. 47-51. doi: 10.7242/2658-705X/2019.2.5
5. Trubitsyn, N.V., Tarkivskii, V.E., Belik, M.A. (2018). Monitoring sel'skokhozyaistvennykh posevov s pomoshch'yu bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Monitoring of agricultural crops by unmanned aerial vehicle]. *Evrasiiskii soyuz uchenykh* [Eurasian Union of scientists], no. 11-2 (56), pp. 26-31.
6. Mogili, U.R., Deepak, B. (2018). Review on application of drone systems in precision agriculture. *Procedia Computer Science*, vol. 133, p. 502-509.
7. Truflyak, E.V., Kurchenko, N.Yu., Daibova, L.A. i dr. (2017). Monitoring i prognozirovaniye nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya APK v oblasti tochnogo sel'skogo khozyaistva, avtomatizatsii i robotizatsii [Monitoring and forecasting of scientific and technological development of the agro-industrial complex in the field of precision agriculture, automation and robotisation]. Krasnodar, Kuban State Agrarian University, 199 p.
8. Adrian, A.M., Norwood, S.H., Mask, P.L. (2005). Producers' perceptions and attitudes toward precision agriculture technologies. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 48, no. 3, pp. 256-271.
9. Debangshi, U. (2021). Drone -Applications in Agriculture. *Chronicle of Bioresource Management*, no. 5 (3), pp. 115-120.
10. Mukhamediev, R.I., Symagulov, A., Kuchin, Y. et al (2021). Review of some applications of unmanned aerial vehicles technology in the resource-rich country. *Applied Science*, vol. 11, no. 21, pp. 10171.
11. Zubarev, N.Yu., Urasova, A.A., Glezman, L.V. i dr. (2024). Znachimyye faktory razvitiya rynka sel'skokhozyaistvennykh bespilotnykh letatel'nykh apparatov v novykh realiyakh [Significant factors of agricultural drone's market development in the new realities]. *Agrarny vestnik Urala* [Agrarian bulletin of the Urals], vol. 24, no. 1, pp. 139-150. doi: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-139-150
12. Qiao, L., Tang, W., Gao, D. et al. (2022). UAV-based chlorophyll content estimation by evaluating vegetation index responses under different crop coverages. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 196, no. 6, p. 106775.
13. Vazquez-Carmona, E.V., Vasquez-Gomez, J.I., Herrera-Lozada, J.C. et al. (2022). Coverage path planning for spraying drones. *Computers and Industrial Engineering*, vol. 168, p. 108125.
14. Kudryavtsev, D.V., Magdin, A.G., Gorbunov, A.A. i dr. (2021). Primeneniye sel'skokhozyaistvennogo bespilotnogo letatel'nogo apparata dlya obrabotki sel'skokhozyaistvennykh kul'tur [Application of agricultural unmanned aerial vehicle for crop cultivation]. *Agrotekhnika i ehnergoobespecheniye* [Agrotechnics and energy supply], no. 2 (31), pp. 37-44.

Информация об авторах:

Ларин Дмитрий Владимирович, аспирант кафедры агрохимии и почвоведения, ORCID: <http://orcid.org/0009-0006-7078-1481>, larin.dmitriy.v@yandex.ru
Кудрявцев Андрей Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологических и транспортных машин и комплексов, akud@tvgscha.ru
Виноградов Артем Викторович, старший преподаватель кафедры ремонта машин и эксплуатации машинно-тракторного парка, avin@tvgscha.ru
Голубев Вячеслав Викторович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологических и транспортных машин и комплексов, ORCID: <http://orcid.org/0009-0005-3135-8384>, golubev.v.vic@yandex.ru

Information about the authors:

Dmitry V. Larin, postgraduate student of the department of agro-chemistry and soil science, ORCID: <http://orcid.org/0009-0006-7078-1481>, larin.dmitriy.v@yandex.ru
Andrey V. Kudryavtsev, candidate of technical sciences, associate professor of the department of technological and transport machines and complexes, akud@tvgscha.ru
Artyom V. Vinogradov, senior lecturer of the department of machine repair and operation of the machine and tractor fleet, avin@tvgscha.ru
Vyacheslav V. Golubev, doctor of technical sciences, professor, head of the department of technological and transport machines and complexes, ORCID: <http://orcid.org/0009-0005-3135-8384>, golubev.v.vic@yandex.ru

✉ larin.dmitriy.v@yandex.ru