

## СИСТЕМА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА СЕЛЬХОЗУГОДИЙ С ПОМОЩЬЮ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

А. Л. БИРЮКОВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент

Г. Г. РАПАКОВ<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доцент

Р. С. ДАРГЕЛЬ<sup>3</sup>, аспирант

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия  
имени Н. В. Верещагина»,  
Вологда, Российская Федерация

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Череповецкий государственный университет»,  
Череповец, Российская Федерация

<sup>3</sup>УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,  
Горки, Республика Беларусь

**Введение.** Одним из основных методов поддержки управленческих решений в задачах умного земледелия является качественный и достоверный мониторинг состояния посевов, который выполняется на системной основе. Повышение эффективности и снижение затрат при возделывании сельскохозяйственных культур при помощи беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) на основе интеллектуального мониторинга сельхозугодий относится к новым актуальным направлениям развития научно-практической работы в области агрофотограмметрии и технологий искусственного интеллекта [1–5].

**Основная часть.** Перспективным направлением в мониторинге сельскохозяйственных земель является дистанционное зондирование (ДЗ) с использованием беспилотных летательных аппаратов. Его достоинствами являются: низкая стоимость; оперативность; низкая требовательность к погодным условиям; высокая детализация. ДЗ с участием БПЛА может успешно выполняться в условиях низкой облачности на высотах до 500 метров. Результаты обработки ортофотопланов полей с высоким разрешением, полученных дроном, востребованы в сельскохозяйственных организациях. Практическая значимость работы обусловлена необходимостью оценки интенсивности вегетации сельскохозяйственных культур.

Наилучшие результаты агрофотограмметрии для оценки вегетационных индексов обеспечивают БПЛА с мультиспектральной съемкой (МСС) (рис. 1). В результате послеполевой цифровой обработки ре-

зультатов ДЗ можно определить: здоровье сельскохозяйственных культур; распространение сорной растительности; наличие насекомых-вредителей; состояние почвы.

Научная новизна работ будет определяться: выполнением пространственной оценки данных о почвенном составе полигона на основе 2D интерполяции при помощи байесовского кригинга; выявлением неоднородностей в распределенных сельскохозяйственных данных с использованием машинной ГИС-аналитики, что позволит адресно адаптировать агротехнические приемы с учетом специфики каждого участка; визуализацией данных для лица, принимающего решения.



Рис. 1. Квадрокоптер с мультиспектральной камерой DJI Phantom 4 Multispectral

Основные возможности мультиспектральной съемки и перспективы интеллектуальной обработки ее результатов обеспечивают:

- снижения производственных затрат предприятий агропромышленного комплекса (АПК) на удобрения, пестициды и полив;
- увеличение доходности на основе методов умного земледелия в ходе цифровой оптимизации растениеводства;
- МСС используется для регулярного контроля за состоянием полей, в том числе сева и сбора урожая, при планировании мероприятий по мелиорации и изменению ландшафта;
- сроки агрофотограмметрии определяются площадью сельхозтерриторий. Оперативное картографирование площади до 100 гектаров может быть выполнено за один полет. Создание карт показателей растительности занимает от 2–3 дней до 1–2 недель в зависимости от площади сельхозугодий;

- анализ состояния плодородного слоя почвы;
- изучение качества пропашности;
- исследование увлажненности почвы и содержания микро- и макроэлементов;
- определение здоровья растений и степени зрелости культур;
- оценка распространения сорной растительности для планирования работ по ее уничтожению;
- оперативное реагирование на возникновение участков, зараженных вредителями и пораженных болезнями;
- формирование карты зонирования для химической защиты растений, неоднородного внесения удобрений и выполнения полива;
- дифференцированное внесение удобрений на основе карт-предписаний позволит предупредить проблемы, обусловленные использованием фиксированной нормой внесения (излишний расход пестицидов, задержка колошения и снижение урожайности культур на более поздней стадии роста);
- карты предписаний при дифференцированном внесении азотных удобрений и пестицидов позволяют сэкономить до 25 % затрат. Применение беспилотной авиации не обеспечивают дифференцированного подхода, поскольку внесение удобрений или химическая обработка посевов происходит равномерное по всей площади обработки.
- оценка интенсивности вегетации сельскохозяйственных культур и вычисление индексов: NDVI (нормализованный разностный индекс растительности/ Normalized Difference Vegetation Index), RGB, GNDVI, LCI, NDRE, OSAVI;
- обработка данных со снимков в геоинформационных системах (ГИС) с использованием алгоритмов компьютерного зрения и методов искусственного интеллекта;
- оценка растений, готовых к обработке и прогнозирование урожайности.

Разработка соответствует направлениям из «Перечня приоритетных направлений развития науки и техники на территории Вологодской области», утвержденного Постановлением Правительства Вологодской области и задачам, указанным в «Стратегии социально-экономического развития Вологодской области на период до 2030 года». Область применения планируемых результатов: на предприятиях агропромышленного комплекса в системе дифференцированного земледелия; при обеспечении биологической защиты растений и внесения удобрений, в задачах мониторинга сельскохозяйственных земель. Ре-

зультаты исследований представляют собой мультиспектральные ортофотопланы и количественную оценку вегетационных индексов, применяемых в задаче оценки агрохимических характеристик почвенного покрова. Социально-экономический эффект обусловлен снижением затрат, ростом рентабельности и повышением качества продукции при возделывании сельскохозяйственных культур.

Для проведения мультиспектральной съемки и выполнения фотограмметрической оценки был использован беспилотный летательный аппарат DJI Phantom 4 Multispectral и специализированное программное обеспечение – приложение по планированию полетов GS Pro. Итоги, полученные при проведении пилотных исследований, подтвердили целесообразность и возможность оценки вегетационных индексов в ходе мониторинга сельхозугодий (рис. 2).

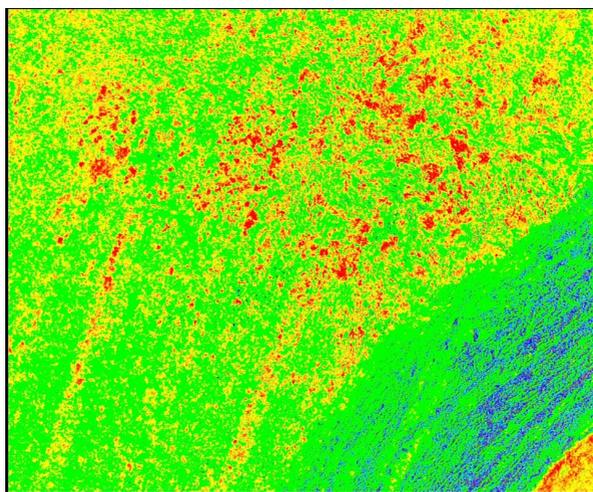


Рис. 2. Фотограмметрические результаты в формате NDVI

Получены предварительное одобрение ряда хозяйств Вологодской области: ОАО «Заря», Племзавод-Колхоз имени 50-летия СССР и др., что подтверждает востребованность проекта. Дальнейшие перспективы исследований связаны с разработками системы дифференцированного внесения удобрений и химической обработки посевов при помощи сельскохозяйственных полетных платформ серии DJI Agras и их отечественных аналогов. Это позволит обеспечить рост экономической

эффективности для хозяйств и индивидуальных предпринимателей региона за счет повышения урожайности культур, снижения энергетических затрат и производственных издержек.

**Заключение.** Ускоренное внедрение цифровых технологий в региональном агропромышленном комплексе на основе применения беспилотных летательных аппаратов при помощи методов фотограмметрии и подходов искусственного интеллекта обеспечивает повышение эффективности и снижение затрат при возделывании сельскохозяйственных культур.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние беспилотных транспортных средств на производственную экосистему / М. А. Малей, А. Р. Созоник, М. И. Усенко, В. Н. Босак // Актуальные вопросы механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2024. – С. 12–14.

2. Гресь, А. В. Беспилотные транспортные средства в сельском хозяйстве / А. В. Гресь, С. Ю. Войтешик, В. В. Пузевич // Обеспечение безопасности жизнедеятельности на современном этапе развития общества. – Горки: БГСХА, 2023. – С. 69–72.

3. Николаев, Д. В. Экспериментальное исследование методов фотограмметрической обработки цифровых изображений БПЛА / Д. В. Николаев, Г. Г. Рапаков, Р. А. Шушков [и др.] // Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам. Технические науки. – Вологда – Молочное: ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА, 2024. – Т. 2. – С. 300–302.

4. Результаты прикладной геоаналитики в ходе обработки данных аппаратно-программного комплекса для карбонового полигона / Г. Г. Рапаков, В. А. Раков, В. А. Горбунов [и др.] // Интеллектуально-информационные технологии и интеллектуальный бизнес (ИНФОС-2023). – Вологда: ВоГУ, 2023. – С. 83–87.

5. Яковлева, К. Д. Особенности применения беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве / К. Д. Яковлева, А. Л. Бирюков // Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам. Технические науки. – Вологда – Молочное: ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА, 2024. – Т. 2. – С. 302–306.

*Аннотация.* Рассмотрены вопросы разработки интеллектуального мониторинга сельхозугодий при помощи беспилотных летательных аппаратов для повышения эффективности и снижение затрат при возделывании сельскохозяйственных культур в ходе цифровой трансформации агропромышленного комплекса региона.

*Ключевые слова:* точное земледелие, БПЛА, мультиспектральная съемка, фотограмметрия, вегетационные индексы.