Обзорная статья/Review Article
УДК 528.7 : 623.746
DOI: 10.36718/1819-4036-2023-1-54-62

Михаил Юрьевич Катаев[1], **Ольга Анатольевна Пасько**[2]✉, **Евгений Юрьевич Карташов**[3]
[1]Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, Россия
[2]Национальный открытый институт г. Санкт-Петербург, Санкт-Петербург, Россия
[3]Северский технологический институт Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Северск, Томская область, Россия
[1]kmy@asu.tusur.ru
[2]o.pasko@noironline.ru
[3]kart.62@yandex.ru

АНАЛИЗ ПРАКТИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Цель исследования – анализ практических возможностей применения беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве. Выполненный в данной статье обзор содержит полезную информацию для понимания сущности и возможностей применения беспилотных летательных аппаратов при решении задач сельскохозяйственного назначения. Показаны области применения беспилотных летательных аппаратов для мониторинга переувлажнения или засухи, обнаружения болезней сельскохозяйственных культур, картирования свойств почвы, степени вызревания, урожайности культур и др. Рассмотрены технологические аспекты, которые включают технические характеристики, пространственное и временное разрешение для применяемых устройств измерения, а также атмосферные условия. Выделены основные типы беспилотных летательных аппаратов, приведены их характеристики, показаны преимущества и недостатки, раскрыт потенциал в плане постепенного наращивания числа функций. На практике применяют три типа платформ БПЛА. БПЛА с неподвижным крылом имеют аэродинамический профиль, который создает подъемную силу, необходимую для отрыва от поверхности земли, полета в воздухе и достижения определенной скорости. Вертолеты имеют набор горизонтально вращающихся лопастей, прикрепленных к центральной мачте для создания подъемной силы и толкания аппарата в разных направлениях. Мультикоптеры – это винтокрылые аппараты с несколькими наборами горизонтально вращающихся лопастей (4–8), способными обеспечить подъем и управление движениями аппарата. Описаны необходимые аппаратные элементы для решения сельскохозяйственных задач. Проведено сравнение основных видов цифровых камер, которые применяют в мониторинге полей с растениями. Описана основная система мониторинга посевов с помощью беспилотных летательных аппаратов. Использовано преобразование измеряемых данных в вид информации (NDVI вегетационный индекс), который показывает особенности состояния растений на контролируемой сельскохозяйственной территории. Получение изображений с помощью БПЛА пока является затратным, имеются проблемы спутниковых изображений, связанные с облачностью. Прогресс развития устройств связан со снижением веса, увеличением полезной нагрузки, повышением устойчивости и управляемости во время полета.

***Ключевые слова**: беспилотный летательный аппарат, сельское хозяйство, индекс растительности, мониторинг, точное земледелие*

***Для цитирования**: Катаев М.Ю., Пасько О.А., Карташов Е.Ю.* Анализ практических возможностей применения беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве // Вестник КрасГАУ. 2023. № 1. С. 54–62. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-1-54-62.

© Катаев М.Ю., Пасько О.А., Карташов Е.Ю., 2023
Вестник КрасГАУ. 2023. № 1. С. 54–62.
Bulliten KrasSAU. 2023;(1):54–62.

Mikhail Yurievich Kataev[1], **Olga Anatolyevna Pasko**[2]✉, **Evgeny Yurievich Kartashov**[3]
[1]Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russia
[2]National Open Institute of St. Petersburg city, St. Petersburg, Russia
[3]Seversk Technological Institute of the National Research Nuclear University MEPhi, Seversk, Tomsk Region, Russia
[1]kmy@asu.tusur.ru
[2]o.pasko@noironline.ru
[3]kart.62@yandex.ru

ANALYSIS OF THE PRACTICAL POSSIBILITIES OF USING UNMANNED AERIAL VEHICLES IN AGRICULTURE

The purpose of the study is to analyze the practical possibilities of using unmanned aerial vehicles in agriculture. The review carried out in this paper contains useful information for understanding the essence and possibilities of using unmanned aerial vehicles in solving agricultural problems. The areas of application of unmanned aerial vehicles for monitoring waterlogging or drought, detecting diseases of agricultural crops, mapping soil properties, the degree of ripening, crop yields, etc. are shown. Technological aspects are considered, which include technical characteristics, spatial and temporal resolution for the measurement devices used, as well as atmospheric conditions. . The main types of unmanned aerial vehicles are identified, their characteristics are given, advantages and disadvantages are shown, the potential is revealed in terms of a gradual increase in the number of functions. In practice, three types of UAV platforms are used. Fixed-wing UAVs have an airfoil that creates the lift needed to lift off the ground, fly through the air, and reach a certain speed. Helicopters have a set of horizontally rotating blades attached to a central mast to create lift and push the craft in different directions. Multicopters are rotorcraft with multiple sets of horizontally rotating blades (4-8) capable of providing lift and control of the craft. The necessary hardware elements for solving agricultural problems are described. A comparison of the main types of digital cameras that are used in monitoring fields with plants is carried out. The main system for monitoring crops using unmanned aerial vehicles is described. The conversion of the measured data into the type of information (NDVI vegetation index) was used, which shows the characteristics of the state of plants in the controlled agricultural area. UAV imaging is still costly and there are problems with satellite imagery due to cloudiness. Progress in the development of devices is associated with a reduction in weight, an increase in payload, an increase in stability and controllability during flight.

Keywords*: unmanned aerial vehicle, agriculture, vegetation index, monitoring, precision farming*

For citation: *Kataev M.Yu., Pasko O.A., Kartashov E.Yu.* Analysis of the practical possibilities of using unmanned aerial vehicles in agriculture // Bulliten KrasSAU. 2023;(1): 54–62. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2023-1-54-62.

Введение. Точное земледелие – форма сельского хозяйства, ориентированная на конкретную местность и предполагающая внесение различных норм ресурсов в зависимости от типа почвы, рельефа, влажности и т. д. В последние годы основой для него становятся беспилотные летательные аппараты (БПЛА) [1], которые могут летать автономно и предоставлять качественные данные о состоянии почвы и растений [2]. БПЛА позволяет проводить мониторинг состояния растений, оценку их урожайности [3], производить картографирование полей (всходы, вызревание, сорняки и т. д.) с помощью обработки и анализа изображений на территории в несколько квадратных километров и передав полученные данные для обработки и анализа [4, 5]. БПЛА имеют разную скорость и грузоподъемность, условия применения [6], отличаются надежностью и быстротой получения первичных данных [7]. Их можно использовать для получения RGB, инфракрасных или многоспектральных изображений полей и культур и на их основании проследить развитие растений и выделить участки, требующие особого внимания [8, 9]. Такой цифровой подход основывается на различном количестве измеряемых данных (изображения, метеорология, агрохимия и др.), что позволяет строить системы поддержки принятий решений [10].

Получение изображений с помощью БПЛА пока является затратным, имеются проблемы спутниковых изображений, связанные с облачностью. Прогресс развития устройств связан со снижением веса, увеличением полезной нагрузки, повышением устойчивости и управляемости во время полета.

Цель исследования – анализ практических возможностей применения беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве.

Результаты и их обсуждение

Классификации беспилотных летательных аппаратов. БПЛА обладают ценностью переноса полезной нагрузки, которая эффективно работает в сельскохозяйственных задачах. Их различают по размеру: нано-, микро-, мини-, малые, средние и большие БПЛА. *Нано- и микро*-БПЛА имеют аккумуляторы малой емкости, существенно ограниченные вес нагрузки и время полета; они не могут контролировать обширную территорию, но решают уникальные задачи. *Мини-* и *малые БПЛА* являются самыми распространенными. С ростом размера БПЛА возрастает сложность их поддержки (перевозка, ремонт, обслуживание) и контроля в полете. *Средние* и *большие* БПЛА используют только крупные компании; у них есть масса ограничений, не позволяющих производить детальное изучение поверхности полей в связи с полетами на достаточно больших высотах.

На практике применяют три типа платформ БПЛА. *БПЛА с неподвижным крылом* имеют аэродинамический профиль, который создает подъемную силу, необходимую для отрыва от поверхности земли, полета в воздухе и достижения определенной скорости. *Вертолеты* имеют набор горизонтально вращающихся лопастей, прикрепленных к центральной мачте для создания подъемной силы и толкания аппарата в разных направлениях. *Мультикоптеры* – это винтокрылые аппараты с несколькими наборами горизонтально вращающихся лопастей (4–8), способными обеспечить подъем и управление движениями аппарата.

БПЛА классифицируют по типу крыльев. У БПЛА *стандартного типа* крылья неподвижны; он управляем дистанционно или осуществляет полет автономно. Несложная конструкция БПЛА *самолетного типа* делает его надежным и недорогим по сравнению с другими моделями (табл. 1).

Таблица 1

Сравнение характеристик наиболее популярных летательных аппаратов

Характеристика	Самолет	Вертолет	Мультикоптер
Преимущества			
Высота полета	До 10 км	До 3 км	До 3 км
Скорость	Высокая	Средняя и низкая	Средняя и низкая
Длительность	1–2 ч	До 1 ч	20–40 мин
Вес полезной нагрузки	Большой	Средний	Низкий
Время эксплуатации	Длительное	Среднее	Среднее
Погода	Ветер до 15 м/с	Ветер до 15 м/с	Ветер до 10 м/с
Недостатки			
Стоимость	Высокая	Высокая	Средняя
Стабильность	Высокая	Средняя	Средняя
Размер поля	Только большие	Малые и средние	Малые и средние
Управление	Специалист	Специалист	Минимальная подготовка
Обслуживание	Сложное	Сложное	Сложное
Проблемы	Шум и вибрации	Шум и вибрации	Частая замена аккумуляторов

Вес систем БПЛА ограничивает его грузоподъемность для применения цифровой камеры, датчиков и т. п. Время полета всех моделей ограничено (10–30 мин), что заставляет постоянно менять маршрут и выделять время для их перезарядки. *БПЛА с зарядкой электрических аккумуляторов* гораздо эффективнее в применении, чем *на топливных элементах*. Последние чрезвычайно дороги в установке и обслуживании, отличаются жесткими нормативами по технике безопасности. Существуют варианты БПЛА с *электрическими батареями и*

подзарядкой во время полета с помощью солнечной энергии, которые обеспечивают непрерывное наблюдение за полями в ясную погоду.

Эффективность применения БПЛА зависит от способа посадки с помощью различных шасси, смягчающих ударов во время посадки или взлета. Основной задачей эффективного двигателя является вращение винтов как БПЛА самолетного, так и мультироторного типа. Другими важными элементами БПЛА являются акселерометр и альтиметр.

Методология применения БПЛА. БПЛА представляют собой синтез авиационных технологий, двигателей, навигационных элементов, средств измерения и программного обеспечения. Одним из основных измерительных компонентов БПЛА является цифровая камера, система накопления изображений, привязки изображений к координатам и программные системы обработки изображений. В качестве цифровых камер могут быть современные RGB-камеры (видимый диапазон спектра 0,35–0,7 мкм), камеры ближнего (0,7–3 мкм) и среднего ИК-диапазона (3–5 мкм), ИК-камеры (8–14 мкм), радарные и лазерные сканаторы и т. д. Для применения изображений, полученных с помощью БПЛА, в практике сельского хозяйства требуются получение ортофотоплана, его обработка с учетом агрономических аспектов и последующий более сложный анализ результатов.

Анализ изображений высокого разрешения (1–10 см в зависимости от высоты полета) позволяет оценивать некоторые характеристики почвы и состояние культур. Имея информацию об урожайности культур и метеоусловиях за предыдущие годы, можно провести моделирование и прогнозирование урожайности в текущем году. Основой мониторинга является получение информации об отражении солнечного излучения от поверхности земли в различных диапазонах спектра. Для RGB цифровой камеры имеется три канала с длинами волн: голубой (0,35–0,45 мкм) (BLUE), зеленый (0,45–0,55 мкм) (GREEN) и красный (0,55–0,65 мкм) (RED). Мультиспектральные камеры помимо трех каналов видимого диапазона имеют также каналы: красного края (0,65–0,75 мкм) (Red edge) и ближнего инфракрасного диапазона (0,75–0,85 мкм) (NIR).

Одним из важнейших параметров, который может быть выделен на изображении, с использованием каналов RGB (Greenness) или с учетом двух других выше указанных каналов, является индекс растительности (Vegetation index). На практике широко используется вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), который позволяет определить потенциальную урожайность растений.

Расчет NDVI может быть выполнен по простому уравнению:

$$NDVI = (NIR - RED)/(NIR + RED). \quad (1)$$

Значения NDVI расположены в диапазоне [–1±1]. Индекс, близкий к 0, означает, что растительность на изображении отсутствует или низкая; [0,2–0,5] – растительность средней плотности; [0,7–1] – высокой плотности. Отрицательные значения индекса свидетельствуют о наличии воды или влажной поверхности. На основании палитр раскраски карт растительности по значениям индекса NDVI специалист может оценить состояние почв и растений.

Другой известный вегетационный индекс – GNDVI рассчитывается аналогично NDVI, но вместо красного канала используется зеленый канал RGB:

$$GNDVI = (NIR - Green)/(NIR + Green). \quad (2)$$

На практике часто применяют индексы, в основе которых находятся каналы только RGB:

$$Greenness = (Green)/(Red + Green + Blue), \quad (3)$$

$$ExG1 = (2 \cdot Green - Red - Blue)/(2 \cdot Red + Green + Blue) \quad (4)$$

или

$$ExGR2 = (2 \cdot Green - 2 \cdot Red + Blue)/(2 \cdot Red + 2 \cdot Green + Blue). \quad (5)$$

Имеются четкие математические зависимости между урожайностью и значением вегетационных индексов, рассчитанных на определенных стадиях роста растения для данных метеорологических условий.

В таблице 2 приведены основные области применения изображений БПЛА в сельскохозяйственной практике.

Таблица 2

Применение изображений в сельскохозяйственной практике

Параметр	Результат	Временной интервал	Область
Влажность почвы	Карта пространственного распределения влажности почвы	Оперативный мониторинг	Локальная и региональная
Стресс растений	Пространственная и временная изменчивость температуры и приземной влажности		
Испаряемость	Индикатор скорости изменения влажности почвы		Региональная
Болезнь растений	Пространственная и временная изменчивость вегетационного индекса		Локальная и региональная
Текстура почвы	Карты взаимосвязи между составом почвы и температурой поверхности земли		Региональная
Сорняки	Карты изменения цвета растений		
Созревание урожая			

Важным аспектом обработки изображений БПЛА является атмосферный эффект. Следует корректировать атмосферное молекулярное и аэрозольное рассеяние, эффекты поглощения газов, солнечное освещение каждого изображения. Излучение солнечного диапазона (0,3–3 мкм) отражаемое от поверхности земли, измеряется датчиками БПЛА. Оно несет в себе пропорции ослабления атмосферой и сказывается на величине яркости каждого пикселя изображения, для которого рассчитывается вегетационный индекс. Интерпретация этих данных на изображениях, полученных в течение дня, без коррекции содержит погрешности за счет вариаций яркости освещенности исследуемой территории, которые следует учитывать и корректировать.

Время получения, обработки и аналитика данных. Полезность данных измерений БПЛА для сезонного мониторинга почвы и состояния посевов зависит от времени между получением изображения, расчетом необходимых данных и использованием в практической деятельности. Процесс получения изображений очень трудоемкий и требует знаний специалистов различных направлений. Частота измерений, равная 1–2 в неделю, в зависимости от типа платформы БПЛА и измерительного датчика, достаточна для получения информации о каждой точке поля.

Технология БПЛА менее затратна по времени и ресурсам, чем просто пешеходное обследование полей за счет получения изображений высокого разрешения (1–10 см на 1 пиксель). Она дает комплексную информацию, связанную с оценкой увлажненности и разнообразия типов почвы, с наличием вредителей и сорняков по всему полю. Имеется возможность регулярного контроля состояния растений на полях (каждые неделю, день или час) для принятия оперативных решений.

На практике, к примеру, для оценки всхожести семян, засоренности поля сорняками или состояния посевов получаемая информация должна быть доставлена очень быстро. Из-за отсутствия четко регламентированной методики получения данных (высота полета БПЛА, пиксельное разрешение цифровой камеры, маршрут и т. д.) накапливается большая база данных. На работу с небольшой территорией затрачивается значительное время. Необходимость учета изменения положения БПЛА в зависимости от скорости и направления ветра ведет к необходимости учета перекрытия изображений между собой от 50 до 70 % и к росту числа обрабатываемых изображений. Для их осмысленной интерпретации изображения должны быть предварительно геометрически выровнены с учетом рельефа и углового положения Солнца (зенитный и азимутальный углы). Следует учесть атмосферные эффекты и географическую привязку построения ортофотоплана.

Только после этого изображения могут быть использованы для создания мозаики, т. е. одного изображения с большим пространственным охватом. Например, для идеального квадратно-

го поля размером 1 км^2 с высоты 100 м получается изображение 100×100 м. Без перекрытия это дает 100 изображений, а с учетом перекрытия в 50 % – более 400, в 70 % – более 600 изображений. Это требует значительного объема хранения данных и время на предварительную обработку, обработку и анализ, представление данных в разных формах и форматах, которые полезны для решения разных задач (табл. 2).

Мониторинг поверхности Земли. Мониторинг посевов осуществляется хозяйствами для обнаружения любых потенциальных угроз, связанных с болезнями и вредителями растений, замедлением скорости роста, засыханием, переувлажнением и т. д. Традиционные, маршрутные наблюдения за посевами осуществляют путем визуального осмотра поля, отбора образцов растений, почв и грунтов. Мониторинг полей с помощью БПЛА и последующая обработка изображений позволяет выявить для растений высоту, их количество, здоровье состояния почвы (плодородие), обнаружение и классификацию болезней и сорных растений, оценку объема относительной биомассы и др. (рис.).

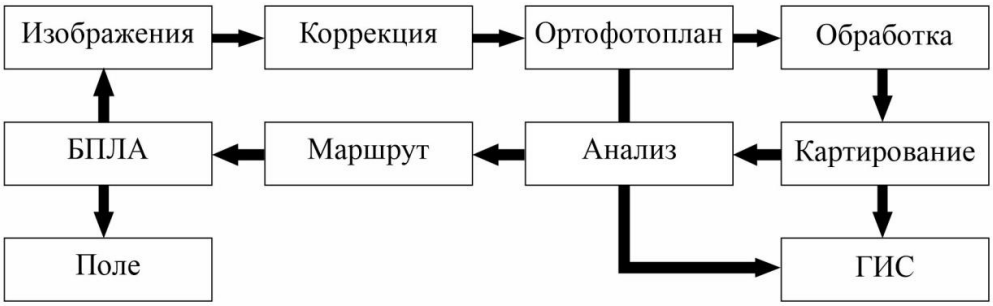

Схема рабочего процесса системы мониторинга земли с помощью БПЛА

Мониторинг почв и посевов с помощью БПЛА в точном земледелии предполагает планирование пути облета поля и оптимизацию маршрута (по времени, направлению движения Солнца, рельефу, экономии электричества и т. д.); он также подчиняется общим ограничениям (погодные условия, территориальные условия, наличие дорог, удаленность и т. д.).

Цифровая камера, установленная на БПЛА, позволяет получить изображения, обработка и анализ которых выявляют участки, на которых растения поражены болезнями или повреждены вредителями, отстают в развитии, испытывают минеральное голодание и др. (табл. 3). Для видимого диапазона спектра применяют цифровую RGB-камеру. Она позволяет определять цвет, размер, форму, края объектов, рассчитывать индексы Greenness и выполнять картографию местности на основе получаемых разнообразных индексов (выражения (3), (4), (5)) и др.

Таблица 3

Сравнение цифровых камер

Показатель	Тип камеры			
	RGB	Мультиспектральный	Гиперспектральный	Инфракрасный
1	2	3	4	5
Стоимость	От средней до высокой	Высокая		От средней до высокой
Размер	Небольшой	От небольшого до среднего	От среднего до большого	От небольшого до среднего
Вес			От небольшого до среднего	
Определяемые параметры	Цвет, размер, форма, края, поверхность, Greenness	Цвет, форма, размер, NDVI	Цвет, форма размер, NDVI	Цвет, форма, размер, NDVI

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5
Пространственное разрешение	0,1–10 см и более	0,1–10 см и более	10 см и более	10 см и более
Число каналов	Три	От 4 до 20	От 100 см и более	От 10 см и более
Зависимость от метеорологии	Средняя	Высокая		
Обработка	Стандартный компьютер	Мощный компьютер		

Типично применяемые для БПЛА камеры имеют стоимость от средней до высокой, в зависимости от оптики, и небольшой размер. Разрешение (число пикселей матрицы) варьирует от низкого до высокого. *Мультиспектральная камера* позволяет получать набор изображений в большем количестве, чем просто RGB, захватывая один или несколько каналов из ближне-инфракрасного диапазона. Набор каналов позволяет оценивать отражательную способность поверхности уже в большем количестве точек и более точно рассчитывать индексы растительности (NDVI). Больший объем данных, чем просто для RGB-камеры требует более мощного компьютера для обработки и анализа.

Реже на практике применяют *гиперспектральные камеры* с достаточно большим числом спектральных каналов, детально прописывающих спектральный коэффициент отражения поверхности. Это дает возможность более точного решения задачи распознавания типа растительности и ее изменений, но требует более быстрых компьютеров с большим объемом памяти для обработки информации.

Инфракрасные камеры имеют размеры от небольших до средних, они позволяют наблюдать поверхность Земли с разным спектральным и пространственным разрешением и «видят» температуру поверхности.

Планирование маршрута полета БПЛА заключается в формировании его высоты, скорости и набора путевых точек на исследуемом поле, определении вершины выбранной полигональной области, связанной с положением поля на географической карте. Зная параметры цифровой бортовой камеры (число пикселей, фокусное расстояние, размер матрицы, угол поля видения), в зависимости высоты полета H рассчитывают желаемое пространственное разрешение Rx, которое определяет расстояние между двумя последовательными пикселями на поверхности Земли.

Высота над поверхностью, на которой будет лететь БПЛА, рассчитывается по формуле

$$H = (f \cdot Wx)/wx, \qquad (6)$$

где f – фокусное расстояние объектива; wx – размер матрицы RGB; Wx – размер области на поверхности земли, занимаемой изображением.

Пространственное разрешение рассчитывается так:

$$Rx=Wx/Nx, \qquad (7)$$

где Nx – число пикселей по большой стороне изображения.

Заключение. Имеется огромный потенциал для постепенного роста числа функций, которые будут реализовываться с помощью сельскохозяйственных БПЛА. Выделены основные типы БПЛА, даны их характеристики, показаны преимущества и недостатки каждого. Описаны необходимые аппаратные элементы БПЛА, необходимые для решения сельскохозяйственных задач. Систематизированы характеристики основных видов цифровых камер, которые могут быть использованы в мониторинге посевов. Дана последовательность преобразования полученных данных в вид информации (вегетационный индекс NDVI), который является индикатором состояния растений.

Список источников

1. *Хабарина, Д.С., Тишанинов И.А.* Анализ применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) различного типа в сель-

ском хозяйстве // Наука без границ. 2021. № 4 (56). С. 78–83.
2. Оценка точности инвентаризации лесных земель с применением воздушного лазерного сканирования / *В.Ф. Ковязин* [и др.] // Геодезия и картография. 2022. Т. 83, № 6. С. 54–63.
3. Мониторинг состояния растительного покрова территории Центрального Ирака с использованием спутниковых данных Landsat-8 / *О.С. Токарева* [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020.Т. 331, № 6. С. 19–31.
4. *Труфляк Е.В., Курченко Н.Ю., Креймер А.С.* Мониторинг и прогнозирование в области точного сельского хозяйства по итогам 2021 г. Краснодар: КубГАУ, 2022. 210 с.
5. *Михайленко И.М.* Развитие методов и средств применения данных дистанционного зондирования земли в сельском хозяйстве // Тенденции развития науки и образования. 2018. № 41-3. С. 70–83.
6. *Савин И.Ю., Вернюк Ю.И., Фараслис И.* Возможности использования беспилотных летательных аппаратов для оперативного мониторинга продуктивности почв // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2018. № 80. С. 95–105.
7. Unmanned Aerial Vehicles in Agriculture: A Review of Perspective of Platform, Control, and Applications / *J. Kim* [et al.] // I EEE Access. 2019. 7. 105100–105115.
8. *Raeva P.L., Šedina J., Dlesk A.* Monitoring of crop fields using multispectral and thermal imagery from UAV. Eur. J. Remote Sens. 2019. 52. P. 192–201.
9. *Chebrolu N., Labe T., Stachniss C.* Robust Long-Term Registration of UAV Images of Crop Fields for Precision Agriculture. IEEE Robot. Autom. Lett. 2018. 3. P. 3097–3104.
10. *Singh K.K., Frazier A.* A meta-analysis and review of unmanned aircraft system (UAS) imagery for terrestrial applications. Int. J. Remote Sens. 2018. 39. P. 5078–5098.

References

1. *Habarina, D.S., Tishaninov I.A.* Analiz primeneniya bespilotnyh letatel'nyh apparatov (BPLA) razlichnogo tipa v sel'skom hozyajstve // Nauka bez granic. 2021. № 4 (56). S. 78–83.
2. Ocenka tochnosti inventarizacii lesnyh zemel' s primeneniem vozdushnogo lazernogo skanirovaniya / *V.F. Kovyazin* [i dr.] // Geodeziya i kartografiya. 2022. T. 83, № 6. S. 54–63.
3. Monitoring sostoyaniya rastitel'nogo pokrova territorii Central'nogo Iraka s ispol'zovaniem sputnikovyh dannyh Landsat-8 / *O.S. Tokareva* [i dr.] // Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 2020.T. 331, № 6. S. 19–31.
4. *Truflyak E.V., Kurchenko N.Yu., Krejmer A.S.* Monitoring i prognozirovanie v oblasti tochnogo sel'skogo hozyajstva po itogam 2021 g. Krasnodar: KubGAU, 2022. 210 s.
5. *Mihajlenko I.M.* Razvitie metodov i sredstv primeneniya dannyh distancionnogo zondirovaniya zemli v sel'skom hozyajstve // Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya. 2018. № 41-3. S. 70–83.
6. *Savin I.Yu., Vernyuk Yu.I., Faraslis I.* Vozmozhnosti ispol'zovaniya bespilotnyh letatel'nyh apparatov dlya operativnogo monitoringa produktivnosti pochv // Byulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva. 2018. № 80. S. 95–105.
7. Unmanned Aerial Vehicles in Agriculture: A Review of Perspective of Platform, Control, and Applications / *J. Kim* [et al.] // I EEE Access. 2019. 7. 105100-105115.
8. *Raeva P.L., Šedina J., Dlesk A.* Monitoring of crop fields using multispectral and thermal imagery from UAV. Eur. J. Remote Sens. 2019. 52. P. 192–201.
9. *Chebrolu N., Labe T., Stachniss C.* Robust Long-Term Registration of UAV Images of Crop Fields for Precision Agriculture. IEEE Robot. Autom. Lett. 2018. 3. P. 3097–3104.
10. *Singh K.K., Frazier A.* A meta-analysis and review of unmanned aircraft system (UAS) imagery for terrestrial applications. Int. J. Remote Sens. 2018. 39. P. 5078–5098.

Статья принята к публикации 15.12.2022 / The article accepted for publication 15.12.2022.

Информация об авторах:

Михаил Юрьевич Катаев[1], профессор кафедры автоматизированных систем управления, доктор технических наук, профессор
Ольга Анатольевна Пасько[2], проректор по научной работе, доктор сельскохозяйственных наук
Евгений Юрьевич Карташов[3], доцент кафедры машин и аппаратов химических и атомных производств, кандидат технических наук

Information about the authors:

Mikhail Yurievich Kataev[1], Professor of the Department of Automated Control Systems, Doctor of Technical Sciences, Professor
Olga Anatolyevna Pasko[2], Vice-Rector for Research, Doctor of Agricultural Sciences
Evgeny Yurievich Kartashov[3], Associate Professor at the Department of Machines and Apparatus for Chemical and Nuclear Industries, Candidate of Technical Sciences