

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-803

УДК 631.58



Научная статья

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРИМЕНЕНИЯ БПЛА ДЛЯ АНАЛИЗА КАЧЕСТВЕННОГО СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ САХАЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ

С.В. Абрамова, Е.Н. Бояров, А.Ю. Соболев

Обоснование. Оценка качественного состояния сельскохозяйственных угодий является важнейшей составляющей в сфере аграрного управления и экологического контроля и представляет собой перманентную научную проблему. Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с набором датчиков для такой оценки позволяет оперативно получать актуальную и достоверную информацию объективного контроля, что дает возможность существенно повысить качество выводов и разработать рекомендации по улучшению управления земельными ресурсами и устойчивому развитию сельскохозяйственных угодий.

Цель. Разработка методики использования БПЛА для оценки качественного состояния сельскохозяйственных угодий Сахалинской области для ее применения в оптимизации агротехнических практик.

Материалы и методы. В отдельных зонах сельскохозяйственного назначения Сахалинской области дистанционными методами была проведена оценка качественного состояния. С помощью набора датчиков, расположенных на БПЛА, определяли качество воздуха, температуру, влажность, уровень пыли.

Результаты. Показано, что применение БПЛА в сельском хозяйстве Сахалинской области предоставляет широкие возможности для мониторинга сельскохозяйственных показателей, позволяя создать компактную и гибкую систему сбора данных за счет подключения и интеграции различных датчиков, что дает возможность создания масштабируемой системы. Впервые разработана модель применения БПЛА для экологического мониторинга сельскохозяйственных угодий Сахалинской области, важным элементом которой является авторский интерфейс, позволяющий обрабатывать в реальном времени показания датчиков и хранить их в специализированной базе данных. С целью реализации модели разработана и апробирована авторская методика

использования БПЛА для оценки качественного состояния сельскохозяйственных угодий в Сахалинской области.

Заключение. Полученные результаты подтвердили эффективность данного подхода для сбора первичных данных экологического. Выбор подходящих БПЛА и датчиков, точный сбор и анализ данных, а также выработка научно обоснованных рекомендаций предоставили основу для построения модели применения БПЛА для экологического мониторинга сельскохозяйственных угодий Сахалинской области. Разработанную модель можно считать прототипом системы комплексного мониторинга, которая может быть масштабируемой за счет изменения набора используемых датчиков.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты; экологический мониторинг; сельскохозяйственные угодья; датчики; анализ данных; агротехнические мероприятия; рекомендации

Для цитирования. Абрамова С.В., Бояров Е.Н., Соболев А.Ю. Разработка методики применения БПЛА для анализа качественного состояния сельскохозяйственных угодий Сахалинской области // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №2. С. 93-112. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-803

Original article

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR THE APPLICATION OF UAVS FOR ANALYSIS OF THE QUALITATIVE STATE OF AGRICULTURAL LANDS IN THE SAKHALIN REGION

S.V. Abramova, E.N. Boyarov, A. Yu. Sobolev

Background. Assessment of the qualitative state of agricultural lands is a crucial component in the field of agricultural management and environmental control, representing a persistent scientific challenge. The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) equipped with a set of sensors for such assessment allows for prompt acquisition of accurate and reliable information for objective monitoring, enabling a significant improvement in the quality of conclusions and the development of recommendations for enhancing land resource management and sustainable agricultural land development.

Purpose. To develop a methodology for the utilization of UAVs in assessing the qualitative state of agricultural lands in the Sakhalin region, aiming to apply this approach for optimizing agrotechnical practices.

Materials and Methods. In specific agricultural zones of the Sakhalin region, a remote assessment of the quality state was conducted. Using a set of sensors placed on UAVs, air quality, temperature, humidity, and dust level were determined.

Results. It has been shown that the use of UAVs in agriculture in the Sakhalin region offers broad opportunities for monitoring agricultural indicators, enabling the creation of a compact and flexible data collection system through the connection and integration of various sensors, thus facilitating the development of a scalable system. A model for the application of UAVs in the ecological monitoring of agricultural lands in the Sakhalin region has been developed, featuring an original interface for real-time sensor data processing and storage in a specialized database. To implement the model, a methodology for utilizing UAVs to assess the quality state of agricultural lands in the Sakhalin region was developed and tested.

Conclusions. The obtained results confirmed the effectiveness of this approach for collecting primary ecological data. The selection of suitable UAVs and sensors, accurate data collection and analysis, as well as the development of scientifically justified recommendations, provided the foundation for constructing a model for the application of UAVs in the ecological monitoring of agricultural lands in the Sakhalin region. The developed model can be considered a prototype of a comprehensive monitoring system, which can be scalable by modifying the set of utilized sensors.

Keywords: unmanned aerial vehicles; environmental monitoring; agricultural lands; sensors; data analysis; agrotechnical measures; recommendations

For citation. Abramova S.V., Boyarov E.N., Sobolev A.Yu. Development of a Methodology for the Application of UAVs for the Analysis of the Qualitative State of Agricultural Lands in the Sakhalin Region. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 2, pp. 93-112. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-803

Введение

Применение БПЛА в анализе качественного состояния сельскохозяйственных угодий и их экологическом мониторинге представляет собой значимую инновацию, ответственную за изменение парадигмы современного аграрного управления и экологического контроля. В рамках современных вызовов, таких как изменения климата, ограниченность ресурсов и потребность в устойчивом развитии, методика мониторинга различных показателей окружающей среды, основанной на применении БПЛА приобретает важность в оптимизации производственных процессов и улучшении устойчивости сельскохозяйственной деятельности.

Актуальность таких исследований обусловлена способностью автоматизированных систем на базе БПЛА эффективно собирать, анализировать и интерпретировать многомерные данные с разнообразных сенсоров, что позволяет добиваться высокой разрешающей способности и пространственной точности в мониторинге агроландшафтов. Путем интеграции современных датчиков, таких как мультиспектральные и гиперспектральные камеры, термальные сенсоры и сенсоры влажности почвы, достигается возможность оценки ключевых параметров сельскохозяйственных угодий, таких как плотность растительности, уровень урожайности, влажность почвы и присутствие живых организмов – вредителей сельского хозяйства.

Исключительное значение в данном контексте приобретает тесная координация между аналитическими функциями таких систем и алгоритмами обработки данных. Данное взаимодействие позволяет достичь высокой степени автоматизации сбора, анализа и интерпретации данных, ускоряя процесс принятия решений и снижая степень участия человека. Важным элементом данного методологического подхода является создание надежных моделей, базирующихся на алгоритмах машинного обучения и компьютерного зрения, что способствует определению аномалий и тенденций, имеющих отношение к качественному состоянию сельскохозяйственных угодий.

Таким образом, методика применения БПЛА в анализе качественного состояния сельскохозяйственных угодий и их экологическом мониторинге олицетворяет инновационный перелом в области аграрного управления и экологического контроля. Соответственно, данное исследование представляет собой комплексный анализ применения беспилотных летательных аппаратов в сочетании с передовыми технологиями объективного контроля для дистанционного мониторинга качественного состояния сельскохозяйственных угодий. Результаты исследования не только демонстрируют эффективность этого подхода, но и открывают новые перспективы для оптимизации производственных процессов и повышения устойчивости сельского хозяйства в условиях современных вызовов, таких как изменения климата и ограниченность ресурсов

Цель

Разработка методики использования БПЛА для оценки качественного состояния сельскохозяйственных угодий Сахалинской области для ее применения в оптимизации агротехнических практик.

Материалы и методы

Выбор сельскохозяйственных угодий Сахалинской области был обусловлен их важностью для агропроизводства и экологической устойчивости региона. Среди доступных моделей БПЛА были проанализированы характеристики, включая дальность полета, грузоподъемность, стабильность и наличие платформы для установки датчиков. Выбрана модель, соответствующая требованиям исследования. На основе целей мониторинга были выбраны датчики, включая датчики определения качества воздуха и пыли, датчики для анализа атмосферных условий. Оптимальные маршруты полета были разработаны с учетом географических особенностей территории и характеристик БПЛА, а также с учетом действующих ограничений на зоны полетов БПЛА, действующие на основании Указа Губернатора Сахалинской области от 25.04.2023 № 18 «Об использовании беспилотных воздушных судов на территории Сахалинской области» и в соответствии с Картой разрешённых зон, где можно пользоваться беспилотными летательными аппаратами (<https://map.sakhalin.gov.ru/minarch>).

Результаты

В современном сельском хозяйстве, где эффективность, устойчивость и точное управление ресурсами становятся все более важными, применение БПЛА становится ключевым инновационным инструментом. Эти технологии предоставляют аграрным производителям и экологам возможность получать высококачественные объективные и актуальные данные о состоянии сельскохозяйственных угодий и окружающей среды с высокой точностью и детализацией.

БПЛА, снабженные современными датчиками и камерами, способны осуществлять съемку, анализ и мониторинг различных параметров, таких как урожайность, плотность растительности, состояние почвы, влажность и заболевания растений, а также экологические показатели. Эти инновационные технологии предоставляют агрономам, экологам и ученым важные инструменты для оптимизации производственных процессов, принятия обоснованных решений и оценки воздействия человеческой деятельности на окружающую среду [1].

Обзор применения БПЛА в сельском хозяйстве охватывает широкий спектр исследований, проводимых различными учеными и практиками в этой области. Рассмотрим работы некоторых исследователей, которые охватывают разнообразные аспекты применения БПЛА в сельском хозяйстве

для анализа качественного состояния сельскохозяйственных угодий и их экологического мониторинга.

Так, К.О. Бочаров рассматривая особенности применения БПЛА в сельском хозяйстве отмечает, что беспилотные летательные аппараты используются практически во всех отраслях сельского хозяйства: выполняют необходимые анализы и сканирование для выявления бактерий, грибов, проблемных зон, нуждающихся в орошении, и многое другое [4].

В работах Д.В. Курносенко рассматриваются вопросы применения беспилотных летательных аппаратов для мониторинга земель сельхозназначения, возможности выявления неиспользуемых земель, рационального использования [6].

Е.Н. Купреева рассматривает преимущества и недостатки традиционных методов геодезических исследований, а также возможности и преимущества беспилотных систем в геодезии на примере различных моделей БПЛА [5].

И. А. Хорош, Д. В. Курносенко в своих работах исследуют вопросы применения беспилотных летательных аппаратов для сельского хозяйства, рассматриваются текущее состояние, а также перспективы развития этой технологии в России [13].

С. В. Шайтура, А. В. Коломейцев, И. И. Позняк рассматривают перспективы цифровизации сельского хозяйства, проведен анализ составных частей точного земледелия, проанализированы механизмы, используемые в точном земледелии, сформулировать основные положения точного земледелия [12].

В работе В. В. Ознамец показано принципиальное отличие съемки с применением БПЛА и классической аэрофотосъемки и отмечается, что съемка с применением БПЛА позволяет собирать информацию для построения качественно разных моделей: ареальных моделей территорий, объемных моделей пространственных объектов и моделей фрагментов объектов и территорий [9].

Н. В. Морозовой описывается значимость земельного мониторинга и эффективность получения информации о земле с помощью дистанционного зондирования [8].

D.C. Tsouros, S. Bibi, P. G. Sarigiannidis оказывают, что такие устройства, как БПЛА, могут использоваться в различных приложениях, связанных с управлением сельскохозяйственными культурами, путем получения изображений с высоким пространственным и временным разрешением. Также авторами подчеркивается, что «...эти технологии производят ре-

волюцию в сельском хозяйстве, позволив принимать решения за считанные дни, а не недели, обещая значительное снижение затрат и увеличение урожайности» [20].

R. Bongiovanni, J. Lowenberg-DeBoer определяют, что БПЛА возможно применять в точном земледелии, что может помочь в управлении затратами на растениеводство экологически чистым способом и будет способствовать долгосрочной устойчивости производственного сельского хозяйства, а также снижать нагрузку на окружающую среду, применяя удобрения и пестициды только там, где они необходимы [17].

K. Paul, J. Dev Roy, S. Sarkar показали, что БПЛА могут помогать в процессах орошения, составлять карты больших полей и осуществлять мониторинг культуры на этих полях. Умное сельское хозяйство не только способствует обеспечению продовольствия для растущего населения, но и способствует последним тенденциям, таким как органическое земледелие и другие [19].

Таким образом, основываясь на анализе перечисленных публикаций, раскроем ключевые преимущества и недостатки использования БПЛА для анализа качественного состояния угодий [16, 18].

Так, преимущества использования БПЛА для анализа качественного состояния сельскохозяйственных угодий охватывают широкий спектр аспектов, среди которых можно выделить следующие [2, 3, 7, 10, 11, 14, 15]:

1. Точность и детализация данных, так как БПЛА способны собирать высокоразрешающие данные, включая мультиспектральные и термальные изображения, что позволяет получить подробную информацию о состоянии почвы, растительности, уровне урожайности и других параметрах. Это обеспечивает более точную оценку качества и потенциала угодий.

2. Скорость мониторинга, поскольку БПЛА способны быстро охватывать большие территории и выполнять съемку в кратчайшие сроки. Это увеличивает скорость мониторинга и анализа, что важно для оперативного принятия решений.

3. БПЛА совместно с геопространственными технологиями позволяют реализовать прецизионное земледелие, т.е. точно подстраивать агротехнические мероприятия под специфические условия каждой области угодий. Это позволяет оптимизировать использование ресурсов.

4. Возможность мониторинга в режиме реального времени, что позволяет оперативно реагировать на изменения в состоянии угодий, такие как заболевания растений, вредители или изменения влажности почвы.

5. Минимизация необходимости физического присутствия людей на поле, что способствует снижению рисков травмирования и антропогенного воздействия на окружающую среду.

Вместе с тем для полноты картины следует отметить и некоторые важные недостатки применения БПЛА для мониторинга земель сельскохозяйственного назначения, к числу которых отнесем следующие:

1. Высокие затраты, поскольку приобретение и обслуживание БПЛА может быть дорогим вложением, что может стать барьером для небольших аграрных предприятий.

2. Для эффективного использования БПЛА требуется специализированная экспертиза в области авиации и обработки данных, поскольку в зонах полета возможны определенные ограничения на использование БПЛА.

3. Ограниченная автономность БПЛА по времени полета и радиусу действия, что может потребовать периодической зарядки или замены батарей.

4. Неблагоприятные погодные условия, такие как сильный ветер, туман, или дождь, могут ограничивать возможность полетов и сбора данных.

5. Обработка и анализ больших объемов данных, собранных с БПЛА, может быть сложной задачей и требовать специализированного программного обеспечения.

Таким образом, несмотря на некоторые недостатки, использование БПЛА в анализе качественного состояния угодий предоставляет значительные преимущества, которые могут способствовать более эффективному и устойчивому сельскому хозяйству.

Методика анализа качественного состояния сельскохозяйственных угодий

Выбор датчиков и анализаторов для сбора данных с целью анализа состояния сельскохозяйственных угодий требует внимательного аналитического и методологического подхода. Процесс выбора следует базировать на нескольких ключевых этапах, включающих определение уникальных целей мониторинга, обзор технических характеристик доступных датчиков, оценку их способности обеспечивать требуемую точность и разрешение, а также сопоставление этих параметров с характеристиками исследуемых агрокультур и агроландшафтов.

В начале процесса необходимо четко определить конкретные цели мониторинга, такие как оценка урожайности, состояния растительности, влажности почвы, качества воздуха и другие параметры. От этого определения зависит дальнейший выбор датчиков.

Ключевым фактором является способность выбранных датчиков обеспечивать требуемую точность и разрешение. Это требует сопоставления технических характеристик датчиков с уровнем детализации, необходимым для анализа состояния растений, почвы и окружающей среды. При этом следует учесть, что более высокая точность и разрешение могут сопровождаться более высокой стоимостью.

Дополнительно, особое внимание следует уделять совместимости выбранных датчиков с конкретной системой мониторинга, базируемой на БПЛА [21]. Это включает в себя анализ физических характеристик датчиков, их массы и габаритов, а также совместимость интерфейсов передачи данных и возможности интеграции в автоматизированные системы.

Важным этапом является оценка возможностей калибровки выбранных датчиков под конкретную агрокультуру и условия исследования. Процесс калибровки позволяет корректировать измерения датчиков с учетом различных факторов, таких как тип почвы, влажность, воздействие атмосферных условий и другие.

И, наконец, перед окончательным выбором датчиков и анализаторов, необходимо учесть бюджетные ограничения и ресурсную доступность. Это включает как стоимость приобретения датчиков, так и затраты на обучение персонала, обработку данных и обслуживание оборудования.

Для подключения различных датчиков и аккумулирования данных нами было применено кроссплатформенное решение на базе микрокомпьютера Raspberry Pi, имеющего требуемые вычислительные мощности, функциональные и аппаратные возможности для подключения навесного оборудования (датчиков), а также массогабаритные показатели, приемлемые для размещения на БПЛА типа DJI Mavic 3.

Микрокомпьютер Raspberry Pi предоставляет широкие возможности для подключения и интеграции различных датчиков мониторинга сельскохозяйственных показателей, позволяя создать компактную и гибкую систему сбора данных. С его помощью можно реализовать множество функций, таких как сбор данных о влажности почвы, температуре, уровне освещенности, качестве воздуха и других параметрах окружающей среды, а также обеспечить их передачу для дальнейшего анализа и принятия решений в области прецизионного сельского хозяйства.

Таким образом, исходя из рассмотренных факторов, в рамках нашего исследования, были выбраны следующие датчики:

- инфракрасный датчик CO₂ типа MH-Z19;
- датчик качества воздуха типа MICS-5524;

- датчик температуры и влажности типа DHT11;
- датчик пыли типа GP2Y1010AU0F.

Размещение и фиксация навесного оборудования на БПЛА осуществлялось с помощью специального кронштейна. Тем самым, БПЛА, микрокомпьютер со встроенным микроконтроллером, система датчиков и база данных в совокупности образовали воздушный сегмент (ВС).

Основные показатели качественного состояния угодий

Одним из ключевых аспектов нашего исследования является интеграция данных, полученных от различных датчиков, которые обеспечивают многомерную и всестороннюю оценку экологических параметров. Соответственно, раскроем возможности применения рассматриваемых датчиков для экологического мониторинга сельскохозяйственных угодий Сахалинской области.

Так, инфракрасный датчик CO_2 типа MH-Z19, обладает способностью точно измерять концентрацию углекислого газа (CO_2) в окружающей атмосфере. При интеграции этого датчика с ВС, полученные данные позволяют выявлять уровни CO_2 в воздухе над сельскохозяйственными угодьями. Высокие уровни CO_2 могут указывать на наличие деградации почвы или нарушение баланса газов в атмосфере, что имеет важное значение для определения экологической устойчивости и планирования агротехнических мероприятий.

Датчик качества воздуха типа MICS-5524 предоставляет информацию о содержании различных вредных газов, таких как оксиды азота (NO_x) и углеводороды (НС), которые могут быть результатом сельскохозяйственных операций и транспортной деятельности. Интеграция этого датчика в систему ВС позволяет реализовать детальный мониторинг загрязнения воздуха и выявлять потенциально опасные участки сельскохозяйственных угодий.

Датчик температуры и влажности типа DHT11 осуществляет обработку информацию о температуре и влажности окружающей среды. Включение DHT11 в состав ВС позволяет регистрировать климатические параметры в различных точках сельскохозяйственной местности. Это особенно важно для определения оптимальных условий для роста культур и выявления потенциальных зон стресса.

Датчик пыли типа GP2Y1010AU0F, используется для измерения концентрации взвешенных частиц в воздухе, которые могут оказывать негативное воздействие на физиологические процессы растений и здоровье

человека. Применение данного датчика в составе ВС позволяет определить уровни пыли в воздухе над сельскохозяйственными угодьями и принять меры по снижению загрязнения.

Схематично применение БПЛА для экологического мониторинга сельскохозяйственных угодий Сахалинской области отражено в модели, изображенной на рис. 1.

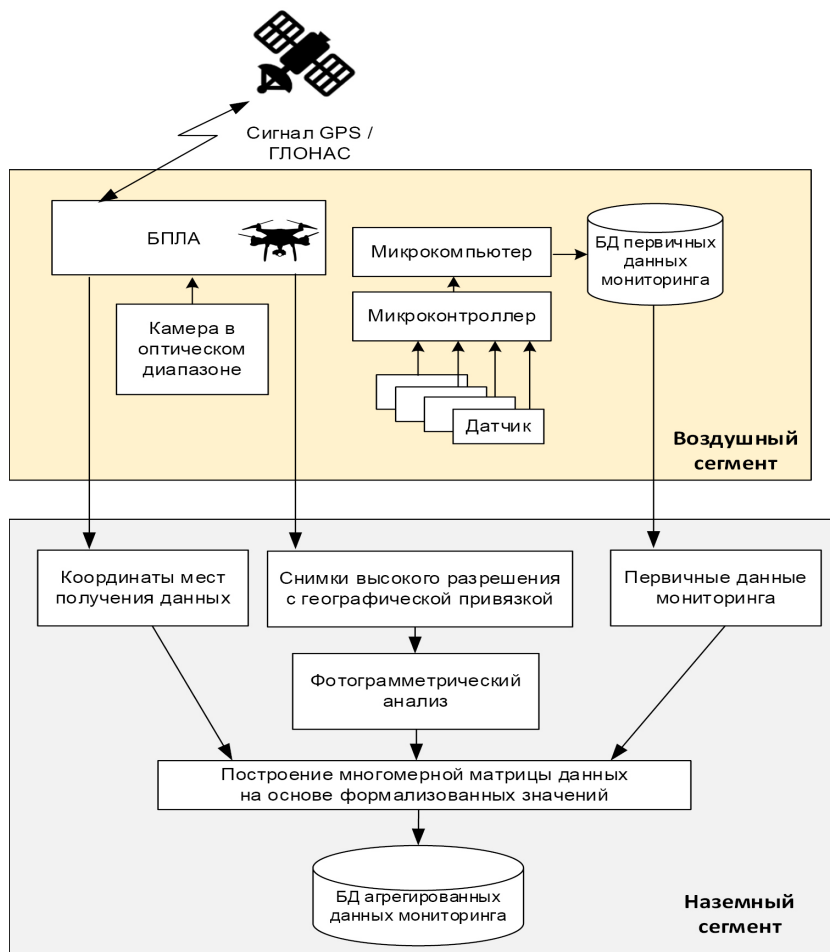


Рис. 1. Модель применения БПЛА для экологического мониторинга сельскохозяйственных угодий Сахалинской

Построенная модель позволяет разработать и обосновать опытную методику применения БПЛА для оценки качественного состояния сельскохозяйственных угодий Сахалинской области, которая включает в себя элементы, представленные системно на рис. 2.

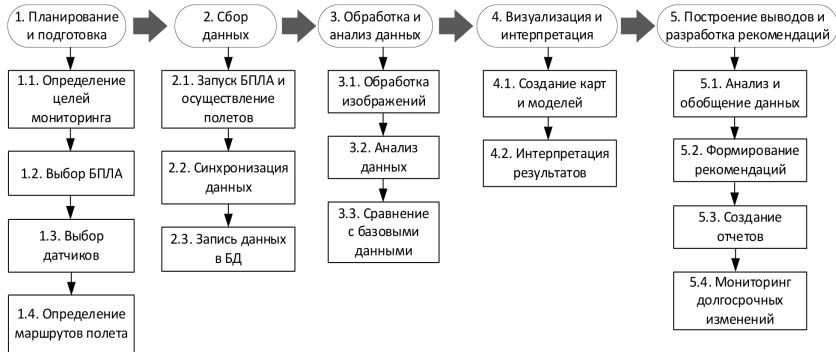


Рис. 2. Структура методики применения БПЛА для оценки качественного состояния сельскохозяйственных угодий Сахалинской области

Тем самым, основными элементами данной методики явились следующие:

1. Планирование и подготовка оценки качественного состояния сельскохозяйственных угодий Сахалинской области.

1.1. Определение целей мониторинга с учетом необходимости оценки состояния почвы, уровня влажности, качества воздуха и других параметров, влияющих на агропроизводство и экологическую обстановку (определение конкретных параметров, таких как состояние почвы, уровень влажности, качество воздуха и др.).

1.2. Выбор БПЛА (определение подходящей модели БПЛА с необходимыми характеристиками, такими как дальность полета, грузоподъемная способность, стабильность).

1.3. Выбор датчиков (идентификация соответствующих датчиков, способных измерять необходимые параметры, например, мультиспектральные камеры, термальные камеры, датчики влажности).

1.4. Определение маршрутов полета (разработка оптимальных маршрутов для полета БПЛА, учитывая особенности местности, расположение угодий, разрешенные зоны полета и т.д.).

2. Сбор данных о качественном состоянии сельскохозяйственных угодий Сахалинской области:

2.1. Запуск БПЛА и осуществление полетов по заранее спланированным маршрутам с активацией датчиков для сбора данных.

2.2. Синхронизация данных (обеспечение синхронизации данных с датчиков с временными и пространственными координатами полета).

2.3. Запись данных в специально создаваемую базу данных.

3. Обработка и анализ данных мониторинга.

3.1. Обработка изображений (обработка собранных изображений для выделения характеристик растительности и почвы).

3.2. Анализ данных (вычисление индексов растительного покрова, температурных карт, оценка уровня влажности и загрязнения воздуха).

3.3. Сравнение с базовыми данными (сопоставление полученных результатов с базовыми данными и данными непрерывного мониторинга для определения изменений и трендов).

4. Визуализация и интерпретация полученных данных мониторинга.

4.1. Создание карт и моделей (разработка геопространственных карт на базе ГИС и моделей, иллюстрирующих состояние угодий и параметры среды в виде цифрового двойника изучаемой местности).

4.2. Интерпретация результатов (анализ полученных карт и данных для выявления областей с неблагоприятным состоянием, определения причин и влияния факторов).

5. Построение выводов и разработка рекомендаций по эффективному использованию земель сельскохозяйственного назначения.

5.1. Анализ и обобщение данных (выделение основных результатов и трендов, связанных с качественным состоянием угодий).

5.2. Формирование рекомендаций на основе анализа данных (разработка рекомендаций по оптимизации агротехнических методов, улучшению урожайности и снижению негативного воздействия).

5.3. Создание отчетов (разработка детальных отчетов с графиками, картами и аналитической интерпретацией результатов).

5.4. Мониторинг долгосрочных изменений (регулярное проведение мониторинга для отслеживания динамики изменений и эффективности реализованных мер).

Заключение

В данном исследовании была успешно разработана и применена методика использования БПЛА для оценки качественного состояния сельскохозяйственных угодий в Сахалинской области. Полученные результаты подтвердили эффективность данного подхода для сбора первичных данных экологического мониторинга в целях оптимизации агротехнических

мероприятий и поддержки экологической устойчивости. Выбор подходящих БПЛА и датчиков, точный сбор и анализ данных, а также выработка научно обоснованных рекомендаций предоставили основу для построения модели применения БПЛА для экологического мониторинга сельскохозяйственных угодий Сахалинской области, которая позволила разработать и обобщить опытную методику применения БПЛА для оценки качественного состояния сельскохозяйственных угодий Сахалинской области.

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено при поддержке Правительства Сахалинской области в ходе реализации научного проекта в рамках грантовых исследований молодых ученых «Проведение экологического мониторинга сельскохозяйственных угодий Сахалинской области с использованием беспилотного летательного аппарата».

Список литературы

1. Абрамова С. В., Бояров Е. Н., Купцова О. В., Двойнова Н. Ф. Риск-ориентированная модель природопользования в условиях заказника «Долинский» Сахалинской области // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2023. Т. 28, № 2. С. 89-103. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2023-28-2-89-103>
2. Агродроны // ГЕОМИР. URL: <https://www.geomir.ru/publikatsii/agrodrony/> (дата обращения: 05.08.2023)
3. Бидак Э.В. Преимущества использования БПЛА в сельском хозяйстве / Э. В. Бидак, А. Р. Мевша, Д. В. Пода // Новая наука: история становления, современное состояние, перспективы развития: сборник статей Международной научно-практической конференции, Волгоград, 18 ноября 2017 года. Часть 3. Волгоград: ОМЕГА САЙНС, 2017. С. 197-200.
4. Бочаров К.О. Применение дронов в сельском хозяйстве // Наука без границ. 2021. №6 (58). С. 88-94.
5. Купреева Е.Н. Технология применения беспилотных систем в геодезических исследованиях, возможности и преимущества // Каталог научных и инновационных разработок ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина»: Сборник материалов по итогам учебной, научно-исследовательской и практической деятельности. Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2023. С. 215-221.
6. Курносенко Д. В. Применение беспилотных летательных аппаратов в качестве средств мониторинга земель сельскохозяйственного назначения //

- Инновационные тенденции развития российской науки: Материалы XII Международной научно-практической конференции молодых ученых, Красноярск, 08–09 апреля 2019 года / Красноярский государственный аграрный университет. Часть I. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2019. С. 237-240.
7. Курченко Н.Ю. Использование БПЛА в сельском хозяйстве / Н. Ю. Курченко, В. В. Бовш // Вектор современной науки: Сборник тезисов по материалам Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, Краснодар, 15 ноября 2022 года. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2022. С. 848-849.
 8. Морозова Н. В. Мониторинг земельных ресурсов. Методика сбора информации при осуществлении мониторинга // E-Scio. 2020. № 4(43). С. 342-347.
 9. Ознамец В.В. Пространственная съемка и моделирование с использованием беспилотных летательных аппаратов // Образовательные ресурсы и технологии. 2020. № 1(30). С. 83-91. <https://doi.org/10.21777/2500-2112-2020-1-83-91>
 10. Пермяков Д.С. Перспективы использования БПЛА в сельском хозяйстве / Д. С. Пермяков, А. Г. Носков // Инновационные технологии в науке и образовании (Конференция «ИТНО 2022»): Сборник научных трудов X Юбилейной международной научно-практической конференции, с. Дивноморское, 26 сентября – 02 октября 2022 года / Редколлегия: Ю.Ф. Лачуга [и др.]. Ростов-на-Дону: ДГТУ-ПРИНТ, 2022. С. 240-244. <https://doi.org/10.23947/itse.2022.240-244>
 11. Сравнительный анализ параметров БПЛА для сельского хозяйства / В. Ю. Михайлов, Е. А. Грика, В. В. Тихоновский, Н. Е. Сацкевич // Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования : Материалы XIV международной научно-практической конференции, посвященной памяти доцента М.А. Анфиногенова, Новосибирск, 10-11 ноября 2022 года. Новосибирск: Издательский центр Новосибирского государственного аграрного университета «Золотой колос», 2022. С. 147-150.
 12. Точное земледелие как один из аспектов цифровизации сельского хозяйства / С. В. Шайтура, А. В. Коломейцев, И. И. Позняк [и др.] // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 3. С. 161-166.
 13. Хорош И.А. Возможности применения беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве / И. А. Хорош, Д. В. Курносенко // Актуальные проблемы аграрной науки: прикладные и исследовательские аспекты: сборник научных трудов II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Нальчик, 10-11 февраля 2022 года. Нальчик: Ка-

- бардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова, 2022. С. 173-176.
14. Чекусов М. С. Применение БПЛА в цифровом сельском хозяйстве / М. С. Чекусов, А. А. Кем, А. Н. Шмидт // Информационные технологии, системы и приборы в АПК. АГРОИНФО-2021: Материалы 8-й Международной научно-практической конференции, р.п. Краснообск, 21–22 октября 2021 года / под ред. В.В. Альта. Новосибирск-Краснообск: Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, 2021. С. 363-365. <https://doi.org/10.26898/agroinfo-2021-363-365>
 15. Юдина Н.П. Применение БПЛА в сельском хозяйстве / Н. П. Юдина, Е. С. Юрова // Территория инноваций. 2016. № 3. С. 39-44.
 16. Agriculture 4.0: Agriculture and Environment Monitoring // electronicsforu. URL: <https://www.electronicsforu.com/technology-trends/tech-focus/agriculture-4-environment-monitoring> (дата обращения: 05.06.2023).
 17. Bongiovanni R., Lowenberg-DeBoer J. Precision agriculture and sustainability // *Precis. Agric.* 2004. Vol. 5. P. 359–387. <https://doi.org/10.1023/B:PRAG.0000040806.39604.aa>
 18. FAO, 2017. Drone for agriculture. URL: <http://www.fao.org/policy-support/tools-and-publications/resources-details/en/c/1234537> (дата обращения: 05.08.2023).
 19. Paul K.K., Roy J.D., Sarkar S. Using UAV and Deep Learning A Systematic Review // *Internet of Things Robotic and Drone Technology.* 2021. <https://doi.org/10.1201/9781003181613-1>
 20. Tsouros D.C, Bibi S., Sarigiannidis P.G. A review on UAV- based applications for precision agriculture // *Information.* 2019. Vol. 10, 349. <https://doi.org/10.3390/info10110349>
 21. Vermesan O., Bahr R., Ottella M., Serrano M., Karlsen T., Wahlstrøm T., Sand H.E., Ashwathnarayan M., Gamba M.T. Internet of Robotic Things Intelligent Connectivity and Platforms // *Frontiers in Robotics and AI.* 2020. Vol. 7, 104. <https://doi.org/10.3389/frobt.2020.00104>

References

1. Abramova S.V., Boyarov E.N., Kupcova O.V., Dvoynova N.F. Risk-orientirovannaya model' prirodopol'zovaniya v usloviyah zakaznika «Dolinskij» Sahalinskoj oblasti [Risk-oriented model of nature management in the conditions of the Dolinsky Nature Reserve of the Sakhalin region]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tekhnologij*, 2023, vol. 28, no. 2, pp. 89-103.

2. *Agrodrony* [Agrodrons]. <https://www.geomir.ru/publikatsii/agrodrony/>
3. Bidak E. V., Mevsha A. R., Poda D. V. Preimushchestva ispol'zovaniya BPLA v sel'skom hozyajstve [Advantages of using UAVs in agriculture]. *New science: history of formation, current state, prospects of development: a collection of articles of the International Scientific and Practical Conference, Volgograd, November 18, 2017*. Volgograd: OMEGA SAJNS, 2017, pp. 197-200.
4. Bocharov K.O. Primenenie dronov v sel'skom hozyajstve [The use of drones in agriculture]. *Nauka bez granits*, 2021, vol. 6 (58), pp. 88-94.
5. Kupreeva E.N. Tekhnologiya primeneniya bespilotnyh sistem v geodezicheskikh issledovaniyah, vozmozhnosti i preimushchestva [Technology of application of unmanned systems in geodetic research, opportunities and advantages]. *Catalog of scientific and innovative developments of Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin: Collection of materials on the results of educational, research and practical activities*. Omsk, 2023, pp. 215-221.
6. Kurnosenko D. V. Primenenie bespilotnyh letatel'nyh apparatov v kachestve sredstv monitoringa zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya [The use of unmanned aerial vehicles as means of monitoring agricultural land]. *Innovative trends in the development of Russian science: Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Krasnoyarsk, April 08-09, 2019*. Krasnoyarsk, 2019, pp. 237-240.
7. Kurchenko N. Yu., Bovsh V.V. Ispol'zovanie BPLA v sel'skom hozyajstve [The use of UAVs in agriculture]. *Vector of modern science: Collection of abstracts on the materials of the International scientific-practical conference of students and young scientists, Krasnodar, November 15, 2022*. Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, 2022, pp. 848-849.
8. Morozova N. V. Monitoring zemel'nyh resursov. Metodika sbora informacii pri osushchestvlenii monitoringa [Spatial survey and modeling using unmanned aerial vehicles]. *E-Scio*, 2020, vol. 4(43), pp. 342-347.
9. Oznamec V.V. *Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii*, 2020, no. 1(30), pp. 83-91. <https://doi.org/10.21777/2500-2112-2020-1-83-91>
10. Permyakov D. S. Noskov A. G. Perspektivy ispol'zovaniya BPLA v sel'skom hozyajstve [Prospects of using UAVs in agriculture]. *Innovative Technologies in Science and Education (Conference "ITNO 2022"): Collection of scientific papers of the X Jubilee International Scientific and Practical Conference, v. Divnomorskoye, September 26 - 02, 2022* / Editorial Board: Y.F. Lachuga et al. Rostov-on-Don: DGTU-PRINT, 2022, pp. 240-244. <https://doi.org/10.23947/itse.2022.240-244>
11. Mikajlov V. Yu., Grika E.A., Tihonovskij V.V., Sackevich N.E. Sravnitel'nyj analiz parametrov BPLA dlya sel'skogo hozyajstva [Comparative analysis of UAV pa-

- rameters for agriculture]. *State and innovations of technical service of machines and equipment : Proceedings of the XIV International Scientific and Practical Conference in memory of Associate Professor M. A. Anfinogenov, Novosibirsk, November 10-11, 2022*. Novosibirsk: Zolotoy Kolos, 2022, pp. 147-150.
12. Shajtura S. V., A. V. Kolomejcev, I. I. Poznyak Tochnoe zemledelie kak odin iz aspektov cifrovizacii sel'skogo hozyajstva [Precision agriculture as one of the aspects of digitalization of agriculture]. *Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii*, 2022, no. 3, pp. 161-166.
 13. Horosh I.A., Kurnosenko D.V. Vozmozhnosti primeneniya bespilotnyh letatel'nyh apparatov v sel'skom hozyajstve [The possibilities of using unmanned aerial vehicles in agriculture]. *Actual problems of agrarian science: applied and research aspects: a collection of scientific papers of the II All-Russian (national) scientific-practical conference, Nalchik, February 10-11, 2022*. Nalchik: Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, 2022, pp. 173-176.
 14. Chekusov M.S., Kem A.A., SHmidt A.N. Primenenie BPLA v cifrovom sel'skom hozyajstve [The use of UAVs in digital agriculture]. *Information technologies, systems and devices in agroindustrial complex. AGROINFO-2021: Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference, Krasnoobsk, October 21-22, 2021* / edited by V.V. Alt. Alta. Novosibirsk-Krasnoobsk: Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 2021, pp. 363-365. <https://doi.org/10.26898/agroinfo-2021-363-365>
 15. Yudina N.P., Yurova E.S. Primenenie BPLA v sel'skom hozyajstve [The use of UAVs in agriculture]. *Territoriya innovatsiy*, 2016, no. 3, pp. 39-44.
 16. Agriculture 4.0: Agriculture and Environment Monitoring. <https://www.electronicsforu.com/technology-trends/tech-focus/agriculture-4-environment-monitoring>
 17. Bongiovanni R., Lowenberg-DeBoer J. Precision agriculture and sustainability. *Precis. Agric.*, 2004, vol. 5, pp. 359–387. <https://doi.org/10.1023/B:PRAG.0000040806.39604.aa>
 18. FAO, 2017. Drone for agriculture. URL: <http://www.fao.org/policy-support/tools-and-publications/resources-details/en/c/1234537>
 19. Paul K.K., Roy J.D., Sarkar S. Using UAV and Deep Learning A Systematic Review. *Internet of Things Robotic and Drone Technology*, 2021. <https://doi.org/10.1201/9781003181613-1>
 20. Tsouros D.C, Bibi S., Sarigiannidis P.G. A review on UAV- based applications for precision agriculture. *Information*, 2019, vol. 10, 349. <https://doi.org/10.3390/info10110349>

21. Vermesan O., Bahr R., Ottella M., Serrano M., Karlsen T., Wahlstrøm T., Sand H.E., Ashwathnarayan M., Gamba M.T. Internet of Robotic Things Intelligent Connectivity and Platforms. *Frontiers in Robotics and AI*, 2020, vol. 7, 104. <https://doi.org/10.3389/frobt.2020.00104>

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Светлана Владимировна Абрамова, д.п.н., доцент, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности, Академик Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сахалинский государственный университет»
проспект Коммунистический, 33, г. Южно-Сахалинск, 693000, Российская Федерация
abramova_sv@list.ru

Евгений Николаевич Бояров, д.п.н., доцент, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности, Академик Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сахалинский государственный университет»
проспект Коммунистический, 33, г. Южно-Сахалинск, 693000, Российская Федерация
e.boyarov@mail.ru

Андрей Юрьевич Соболев, к.п.н., доцент кафедры безопасности жизнедеятельности,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сахалинский государственный университет»
проспект Коммунистический, 33, г. Южно-Сахалинск, 693000, Российская Федерация
sobelev_an@bk.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Svetlana V. Abramova, Holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Pedagogic Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Life Safety

Sakhalin State University

33, Kommunisticheskiy Ave., Yuzhno-Sakhalinsk, 693000, Russian Federation

abramova_sv@list.ru

SPIN-code: 6335-3019

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9863-5287>

Scopus Author ID: 57191872091

Evgeniy N. Boyarov, Holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Pedagogic Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Life Safety

Sakhalin State University

33, Kommunisticheskiy Ave., Yuzhno-Sakhalinsk, 693000, Russian Federation

e.boyarov@mail.ru

SPIN-code: 5413-4504

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7283-1872>

Scopus Author ID: 57191878704

Andrey Yu. Sobolev, Cand.of Ped.Sc.,Asc.Prof. of the Department of Life Safety

Sakhalin State University

33, Kommunisticheskiy Ave., Yuzhno-Sakhalinsk, 693000, Russian Federation

sobolev_an@bk.ru

SPIN-code 1676-3145

Поступила 15.08.2023

После рецензирования 14.09.2023

Принята 03.10.2023

Received 15.08.2023

Revised 14.09.2023

Accepted 03.10.2023