

DOI 10.58351/2949-2041.2026.34.5.048

**Рудь Иван Васильевич**, аспирант  
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»  
Rud Ivan Vasilievich  
Admiral Makarov SUMIS

Научный руководитель:  
**Марлей Владимир Евгеньевич**, д.т.н., профессор  
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»  
Marley Vladimir Evgenievich  
Admiral Makarov SUMIS

**СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ КООПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА БОРЩЕВИКА  
СОСНОВСКОГО НА БЕРЕГАХ ВОДОЕМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РОЯ БПЛА,  
ЗАПУСКАЕМЫХ С БЕСПИЛОТНОГО КАТЕРА  
DEVELOPMENT OF A COOPERATIVE MONITORING SYSTEM FOR SOSNOWSKY'S  
HOGWEED ON WATER-BODY SHORELINES USING A UAV SWARM LAUNCHED  
FROM AN UNMANNED BOAT**

**Аннотация.** Работа посвящена архитектуре распределенной системы управления роем БПЛА, запускаемых с беспилотного катера для мониторинга борщевика Сосновского на берегах водоемов. Рассмотрены обнаружение очагов, уточнение границ зарослей и построение геопривязанной карты. Предложена двухкаскадная схема распознавания: первичный RGB-поиск и уточняющий мультиспектральный проход в зонах неопределенности.

**Abstract.** The paper describes a distributed control architecture for a UAV swarm launched from an unmanned boat to monitor Sosnowsky's hogweed on water-body shorelines. The approach supports infestation detection, stand boundary refinement and georeferenced hotspot mapping. A two-stage recognition pipeline is proposed: initial RGB-based search followed by multispectral inspection of uncertain areas.

**Ключевые слова:** Беспилотные катера, БПЛА, рой БПЛА, борщевик Сосновского, прибрежный мониторинг, геопривязанная карта очагов.

**Keywords:** Unmanned boats, UAVs, UAV swarm, Sosnowsky's hogweed, shoreline monitoring, georeferenced hotspot map.

### **Введение**

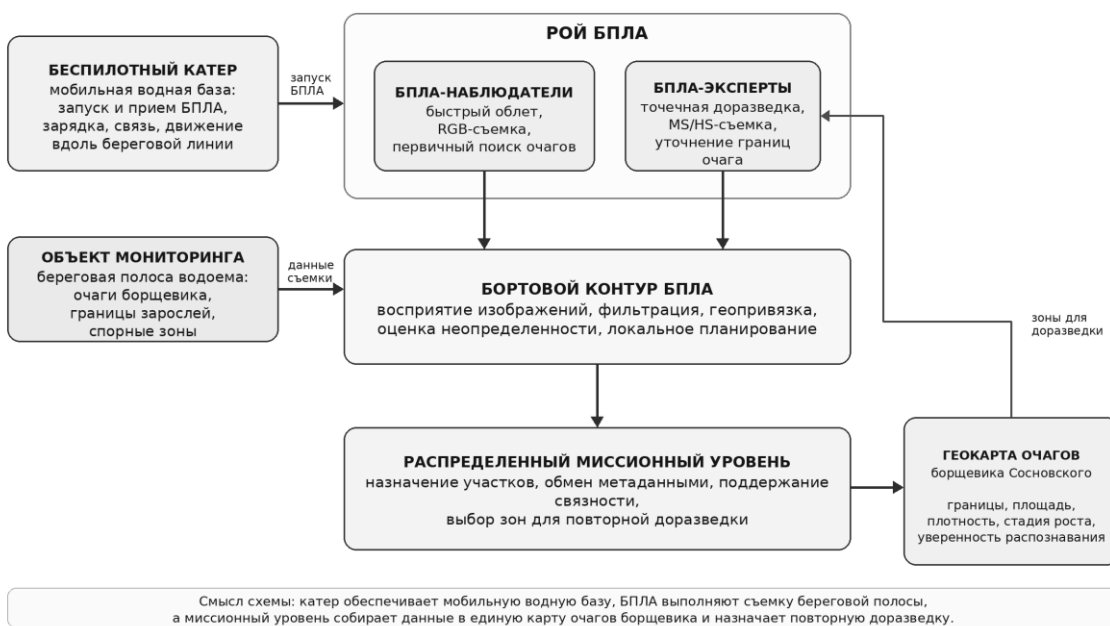
Борщевик Сосновского представляет собой экологическую и инженерную проблему для прибрежных территорий: плотные заросли затрудняют обслуживание береговой инфраструктуры и создают риск ожогов при контакте с растением. Для принятия управленческих решений требуется не только факт обнаружения растения, но и карта очагов, оценка площади, стадии развития и уверенности распознавания. БПЛА обеспечивают высокое пространственное разрешение и повторяемость съемки [1], а запуск с беспилотного катера удобен для протяженных береговых участков, где наземный доступ ограничен.

### **Основная часть**

Беспилотная съемка уже применяется для мониторинга прибрежной растительности и инвазивных видов. Близкие исследования показывают, что дроны позволяют гибко выбирать высоту полета, сенсоры и расписание съемки [1]. Для борщевика Сосновского подтверждена возможность автоматизированного выявления растений и зарослей по материалам съемки с БПЛА [3, 4]. В предлагаемой системе катер движется вдоль берега и обслуживает группу БПЛА: аппараты-наблюдатели выполняют первичный обзор береговой полосы, а аппараты-эксперты направляются в спорные зоны для уточнения границ очагов. Обобщенная архитектура системы представлена на рисунке 1.



Схема 1. Архитектура мониторинга борщевика на берегах водоемов

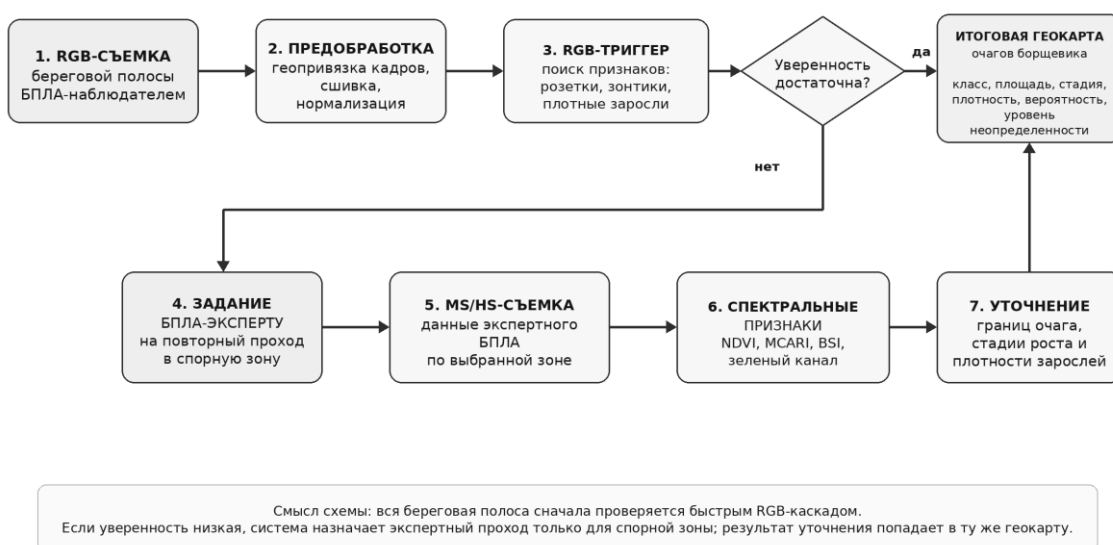


Примечание: MS - мультиспектральная съемка; HS - гиперспектральная съемка.

Рис. 1. Архитектура кооперативного мониторинга борщевика Сосновского с запуском БПЛА с беспилотного катера (составлено авторами).

Распознавание борщевика целесообразно организовать как двухкаскадный процесс (рисунок 2). На первом этапе RGB-камера выявляет участки с характерными визуальными признаками: крупной листовой массой, зонтиками и плотной фактурой зарослей. На втором этапе экспертный БПЛА уточняет спорные зоны с использованием мультиспектральных признаков и индексов растительности. Такой подход снижает объем передаваемых данных и не требует применять более дорогую полезную нагрузку на всей трассе обследования.

Схема 2. Двухкаскадное обнаружение борщевика Сосновского



Примечание: RGB-триггер экономит ресурс БПЛА-экспертов и снижает объем передаваемых данных.

Рис. 2. Двухкаскадный контур обнаружения и уточнения очагов борщевика Сосновского по данным БПЛА (составлено авторами).



Для координации роя береговая полоса разбивается на ячейки  $q_i$ . Каждая ячейка получает оценку: наличие борщевика, стадия роста, степень риска и уровень неопределенности. БПЛА обмениваются не полными снимками, а компактными метаданными: координатами, классом объекта, уровнем уверенности и состоянием аппарата. Это позволяет сохранять работоспособность системы при ограниченной дальности связи и энергии. Распределение заданий может выполняться гибридно: консенсусный контур поддерживает согласованность карты и связность группы, а аукционный или ДМРС-механизм назначает аппараты на ячейки с учетом расстояния, заряда, доступного сенсора и приоритета зоны. Подходы распределенного назначения заданий для многоаппаратного мониторинга развиваются в современных исследованиях и позволяют учитывать неопределенность информации в динамической среде [5].

### Выводы

Рассмотрена иерархическая система управления роем БПЛА, запускаемых с беспилотного катера для мониторинга борщевика Сосновского на берегах водоемов. Система объединяет водную платформу, БПЛА-наблюдатели, БПЛА-эксперты, бортовое восприятие и распределенное назначение заданий. В отличие от схем мониторинга водной растительности, основное внимание перенесено на обследование береговой полосы и построение геопривязанной карты наземных очагов инвазии.

Сокращение объема данных достигается за счет двухкаскадной обработки: быстрый RGB-поиск формирует список подозрительных участков, а экспертный проход уточняет только зоны с низкой уверенностью. Переход от простой отметки «обнаружено / не обнаружено» к карте «очаг / стадия / неопределенность» повышает практическую ценность мониторинга и позволяет планировать дальнейшие меры борьбы с борщевиком.

### Список литературы:

1. Singh K.K., Surasinghe T.D., Frazier A.E. Systematic review and best practices for drone remote sensing of invasive plants // *Methods in Ecology and Evolution*. 2024. Vol. 15, No. 6. P. 998-1015. DOI: 10.1111/2041-210X.14330.
2. Michez A., Piégay H., Jonathan L., Claessens H., Lejeune P. Mapping of riparian invasive species with supervised classification of Unmanned Aerial System (UAS) imagery // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2016. Vol. 44. P. 88-94. DOI: 10.1016/j.jag.2015.06.014.
3. Savin I.Y., Andronov D.P., Shishkonakova E.A., Vernyuk Y.I. Detecting Sosnowskyi's Hogweed (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) using UAV survey data // *Russian Agricultural Sciences*. 2021. Vol. 47. P. S90-S96. DOI: 10.3103/S106836742201013X.
4. Kurbanov R.K., Dalevich A.N., Dorokhov A.S., Zakharova N.I., Rebouh N.Y., Kucher D.E., Litvinov M.A., Ali A.M. Monitoring of *Heracleum sosnowskyi* Manden Using UAV Multisensors: Case Study in Moscow Region, Russia // *Agronomy*. 2024. Vol. 14, No. 10. Article 2451. DOI: 10.3390/agronomy14102451.
5. Zhang C., Xu C., Li G. et al. A distributed task allocation approach for multi-UAV persistent monitoring in dynamic environments // *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. Article 6437. DOI: 10.1038/s41598-025-89787-3

