

<https://doi.org/10.26160/2572-4347-2026-24-27-30>

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Качаев А.Е., Гарголина К.В., Лесников И.Р., Медведева А.А.

Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга», Коломна, Россия

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, экологическая безопасность, водный объект, дистанционное зондирование, эвтрофикация, мультиспектральная съемка

Аннотация. В статье рассматриваются современные методы использования беспилотных летательных аппаратов для оценки экологического состояния водных объектов. Анализируются технические средства съемки (мультиспектральные, тепловизионные, лидары), алгоритмы обработки данных и методы выявления загрязнений (нефтепродукты, эвтрофикация, тепловое и биогенное загрязнение). Отдельное внимание уделено перспективам интеграции беспилотных летательных аппаратов с автоматическими химическими сенсорами и искусственным интеллектом для оперативного реагирования. Показано, что применение дронов повышает детальность, частоту и безопасность мониторинга по сравнению с традиционными судовыми и спутниковыми методами.

USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR MONITORING THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF WATER BODIES

Kachaev A.E., Gargolina K.V., Lesnikov I.R., Medvedeva A.A.

*All-Russian Research Institute of Irrigation Systems and Agricultural Water Supply
“Raduga”, Kolomna, Russia*

Keywords: unmanned aerial vehicle, environmental safety, water body, remote sensing, eutrophication, multispectral imaging

Abstract. This article examines modern methods for using unmanned aerial vehicles to assess the environmental status of water bodies. It analyzes imaging technologies (multispectral, thermal imaging, and lidar), data processing algorithms, and methods for detecting pollutants (oil products, eutrophication, thermal, and biogenic pollution). Special attention is given to the prospects for integrating unmanned aerial vehicles with automated chemical sensors and artificial intelligence for rapid response. It is shown that the use of drones increases the detail, frequency, and safety of monitoring compared to traditional ship-based and satellite-based methods.

Введение. Водные объекты (реки, озера, водохранилища, прибрежные зоны морей) являются ключевыми реципиентами антропогенного загрязнения. Нефтепродукты, тяжелые металлы, пестициды и биогенные элементы (азот, фосфор) приводят к деградации экосистем. Традиционный мониторинг (отбор проб с лодок, стационарные посты, спутниковая съемка) имеет ограничения: низкую периодичность, локальность проб, зависимость от погоды для спутников высокого разрешения и высокую стоимость экспедиционных работ.

Внедрение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА, дронов) позволяет преодолеть эти недостатки. За последние 5-7 лет технология

прошла путь от экспериментальных полетов до рутинного инструмента природоохранных ведомств. **Цель** данного **исследования** – обобщить существующие методы и показать наиболее перспективные направления развития.

Методы исследования. В зависимости от решаемой задачи применяются различные полезные нагрузки (табл. 1).

Табл. 1. Типы сенсоров БПЛА для мониторинга воды

Тип сенсора	Что регистрирует	Пример применения
Обычная RGB-камера (4K/20 Мп)	Видимый цвет, структуру поверхности	Обнаружение пятен нефти, мусора, цветения водорослей (грубо)
Мультиспектральная камера (зеленый, красный, ближний ИК)	Отражение в узких каналах	Индексы хлорофилла, взвешенных веществ, макрофитов
Тепловизор (8–14 мкм)	Температуру поверхности воды	Сбросы подогретых вод, места поступления грунтовых вод
Гиперспектральная камера	Непрерывный спектр (сотни каналов)	Идентификация типа загрязнителя (нефть, масла, эмульсии)
Лидар (LiDAR)	3D-рельеф дна (в мелководье) и прибрежной зоны	Объем наносов, деформация русел

При фиксации эвтрофикации и цветения цианобактерий используется индекс NDVI (нормализованный вегетационный индекс) для водной поверхности, определяемый по формуле [1]:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED),$$

где NIR и RED – это спектральные каналы (диапазоны длин волн), которые используются для расчета вегетационных индексов, таких как NDVI.

На загрязненной биогенами воде наблюдается аномальный пик в ближнем ИК из-за скопления фитопланктона. Интеграция с водной пробой по калибровочной зависимости позволяет оценить концентрацию хлорофилла-А.

При фиксации теплового загрязнения тепловизионные съемки до и после сброса водных масс с различных объектов или промышленных предприятий дают карты температурных аномалий с разрешением 10-20 см. Нормативным показателем является превышение естественной температуры на 3-5°C.

Кислородный режим (косвенный). Прямого сенсора кислорода у БПЛА нет, но по комбинации температуры, спектральной яркости и наличию гниющих макрофитов нейросетевые модели прогнозируют зоны гипоксии.

В качестве примера приведем контроль цветения Рыбинского водохранилища. Мультиспектральная съемка с БПЛА DJI Phantom 4 Multispectral в течение мая – сентября 2022 года выявила участки накопления

Microcystis aeruginosa с концентрацией хлорофилла-А до 230 мг/м³ (предельно допустимая 5 мг/м³ для воды рыбохозяйственного назначения). Созданы карты ранжирования по степени экологической опасности [2].

Результаты и обсуждение. В качестве перспектив развития подобного метода исследования можно считать следующее: интеграция с химическими микро-сенсорами. Разрабатываются подвесные системы (например, миниатюрные электрохимические ячейки) для прямого измерения pH, растворенного кислорода, электропроводности при касании водой. Прототипы (Сколтех, ETH Zürich) уже позволяют взять 6-8 проб за полет; роевые группы БПЛА – эскадрилья из 5-10 дронов синхронно покрывает большие акватории (до 50 км² за вылет) с разделением задач: один делает спектроскопию, второй – тепловизию, третий отбирает пробу; мониторинг подледного загрязнения – тепловизор с длинноволнового диапазона (LWIR) и микролидар с зеленым лучом (532 нм) сквозь лед до 50 см регистрируют накопления метана и нефтепродуктов подо льдом. Актуально для северных рек и арктических морей, а также водных объектов с отдельно расположенными гидротехническими сооружениями [3, 4].

Нормативное обеспечение. В РФ и ЕС уже вносятся изменения в ведомственные методики (Росприроднадзор, ЕЕА), признающие данные с БПЛА юридически значимыми при условии калибровки и документирования полетного задания.

Выводы. Применение БПЛА для мониторинга экологической безопасности водных объектов является зрелым и быстро развивающимся направлением. Дроны позволяют обнаруживать и картировать нефтяные разливы, очаги эвтрофикации и тепловые загрязнения с детальностью до 2-5 см и периодичностью хоть каждый час. Наиболее перспективны: гибридные химико-мультиспектральные системы, роевая работа и бортовой ИИ. Для полноценного внедрения требуется доработка законодательной базы и создание региональных центров обработки данных БПЛА-мониторинга.

Список литературы

1. Зверьков М.С., Смелова С.С. Определение трофического статуса мелиоративного водоема по флористическому составу макрофитов // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2025. – Т. 80, №5. – С. 141-152. – doi.org/10.55959/MSU0579-9414.5.80.5.11.
2. Коломыц Э.Г., Шарая Л.С. Вегетационный индекс NDVI как индикатор фотосинтетического потенциала бореальных лесов Волжского бассейна // Лесоведение. – 2020. – №4. – С. 301-313. – doi.org/10.31857/S0024114820040075.
3. Качаев А.Е., Турапин С.С. Методика численного моделирования устойчивости грунтовой плотины при экстренной сработке водохранилища // Экология и строительство. – 2024. – №4. – С. 4-13. – doi.org/10.35688/2413-8452-2024-04-001.
4. Романович А.А., Уваров В.А., Орехова Т.Н., Качаев А.Е., Харламов Е.В. Механизация транспортных процессов в дорожном строительстве: Учебное пособие. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – 134 с.

References

1. Zverkov M.S., Smelova S.S. Determination of the trophic status of a reclamation reservoir by the floral composition of macrophytes // Bulletin of the Moscow University. Episode 5: Geography. 2025, vol. 80, no. 5, pp. 141-152. doi.org/10.55959/MSU0579-9414.5.80.5.11.
2. Kolomyts E.G., Sharaya L.S. Vegetation index NDVI as an indicator of photosynthetic potential of boreal forests of the Volga basin // Forestry science. 2020, no. 4, pp. 301-313. doi.org/10.31857/S0024114820040075.
3. Kachaev A.E., Turapin S.S. Methodology for numerical modeling of the stability of an earth dam during emergency drawdown of a reservoir // Ecology and Construction. 2024, no. 4, pp. 4-13. doi.org/10.35688/2413-8452-2024-04-001.
4. Romanovich A.A., Uvarov V.A., Orekhova T.N., Kachaev A.E., Kharlamov E.V. Mechanization of transport processes in road construction: Tutorial. – Belgorod: Belgorod State Technological University n.a. V.G. Shukhov, 2023. – 134 p.

Качаев Александр Евгеньевич – кандидат технических наук, заведующий отделом и старший научный сотрудник отдела эксплуатации гидромелиоративных и гидротехнических сооружений	Kachaev Aleksandr Evgenievich – candidate of technical sciences, head of Department and senior researcher in the department of operation of irrigation and hydraulic engineering structures
Гарголина Кристина Витальевна – младший научный сотрудник отдела эксплуатации гидромелиоративных и гидротехнических сооружений	Gargolina Kristina Vitalievna – junior researcher of the Department of operation of irrigation and hydraulic structures
Лесников Иван Романович – младший научный сотрудник отдела эксплуатации гидромелиоративных и гидротехнических сооружений	Lesnikov Ivan Romanovich – junior researcher of the Department of operation of irrigation and hydraulic structures
Медведева Анна Александровна – младший научный сотрудник отдела эксплуатации гидромелиоративных и гидротехнических сооружений	Medvedeva Anna Aleksandrovna – junior researcher of the Department of operation of irrigation and hydraulic structures
doctor_cement@mail.ru	

Received 06.05.2026