

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ДАННЫХ БПЛА ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ ЗООЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В ЛЕСНОМ ФОНДЕ

А.В. Чураков

к.т.н., доцент кафедры «Автоматизации, метрологии и управления в технических системах»

М.А. Куттуева

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, Россия

Аннотация. Зоологическая активность в лесном фонде, такая как деятельность короедов и повреждение животными, представляет значительную угрозу для здоровья и продуктивности лесов. Традиционные методы мониторинга часто трудоемки и ограничены по охвату. В данной работе представлен метод автоматизированного обнаружения и классификации объектов зоологической активности с использованием пространственно-временных данных, полученных с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА), и интеллектуального анализа.

Ключевые слова: БПЛА, зоологическая активность, лесной фонд, интеллектуальный анализ данных

INTELLIGENT ANALYSIS OF SPACE-TIME UAV DATA FOR DETECTION AND CLASSIFICATION OF OBJECTS OF ZOOLOGICAL ACTIVITY IN THE FOREST FUND

A.V. Churakov

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automation, Metrology and Control in Technical Systems,

St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov, Russia

M.A. Kuttueva

St. Petersburg State Forestry Engineering University named after S.M. Kirov, Russia

Abstract.

Zoological activity in the forest fund, such as bark beetles and animal damage, poses a significant threat to forest health and productivity. Traditional monitoring methods are often time-consuming and limited in scope. This paper presents a method for automated detection and classification of objects of zoological activity using spatiotemporal data obtained using an unmanned aerial vehicle (UAV) and intelligent analysis.

Keywords: UAVs, zoological activity, forest fund, data mining

Поддержание здоровья и продуктивности лесов требует эффективного мониторинга зоологической активности, которая может проявляться в различных формах, от повреждения крон насекомыми до выборочного уничтожения подроста животными. Традиционные методы мониторинга зоологической активности, такие как наземные обследования и авиационный визуальный осмотр, характеризуются рядом существенных недостатков. Они трудоемки, требуют больших временных и финансовых затрат, и часто

ограничены в охвате территории [6]. Кроме того, они могут быть субъективными и не обеспечивать достаточную точность и детализацию данных, что подчеркивает необходимость разработки более эффективных подходов.

Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для мониторинга лесного фонда предоставляет ряд значительных преимуществ по сравнению с традиционными методами [1]. Однако, обработка больших объемов данных, получаемых с БПЛА, вручную является трудоемкой и неэффективной. В связи с этим, применение методов интеллектуального анализа данных (ИАД), таких как машинное обучение и пространственно-временной анализ, позволяет автоматизировать процесс обнаружения и классификации объектов зоологической активности, значительно повысить точность результатов. ИАД позволяет выявлять закономерности и аномалии, которые могут быть упущены при визуальном анализе, и, следовательно, повышает эффективность мониторинга и управления лесными ресурсами. Оперативное обнаружение и классификация объектов зоологической активности имеют решающее значение для своевременного принятия мер по борьбе с вредителями и болезнями. ИАД обеспечивает автоматизированную обработку данных БПЛА в режиме, близком к реальному времени, что позволяет оперативно предоставлять информацию лицам, принимающим решения, и повышать эффективность управления лесными ресурсами.

Типы данных БПЛА, пригодные для анализа зоологической активности:

1. RGB-изображения: RGB-изображения (Red, Green, Blue) представляют собой стандартные цветные изображения, которые могут быть получены с помощью обычных цифровых камер [9]. Они позволяют визуально оценивать состояние лесного покрова и выявлять некоторые виды зоологической активности, такие как: усыхание деревьев (изменение цвета хвои или листвы), повреждение крон (механические повреждения, вызванные животными или насекомыми), изменение в подлеске (вытаптывание растительности животными или изменения в видовом составе подлеска). Однако, RGB-изображения имеют ограниченную информативность для выявления скрытых или ранних признаков зоологической активности, поскольку они отражают только видимый спектр электромагнитного излучения.
2. Мультиспектральные изображения: Мультиспектральные изображения содержат информацию о спектральной отражательной способности объектов в нескольких диапазонах электромагнитного спектра, включая видимый, ближний инфракрасный (NIR) и коротковолновый инфракрасный (SWIR) диапазоны. Это позволяет получать более детальную информацию о состоянии растительности и выявлять признаки зоологической активности, невидимые в видимом диапазоне. Примеры: оценка состояния растительности (спектральные индексы растительности, такие как NDVI и EVI, рассчитываемые на основе мультиспектральных данных, позволяют оценивать биомассу, содержание хлорофилла и общее состояние растительности [2]. Изменения в этих индексах могут указывать на поражение деревьев вредителями, болезнями или животными), выявление стресса растений (мультиспектральные данные позволяют выявлять признаки стресса растений на ранних стадиях, до появления видимых симптомов. Например, изменение отражательной способности в красном крае спектра может указывать на недостаток питательных веществ или водный стресс), классификация видов растительности (мультиспектральные данные позволяют классифицировать виды растительности и определять изменения в видовом составе лесного покрова, вызванные зоологической активностью). (рисунок 1)



Данные LiDAR: LiDAR - это технология дистанционного зондирования, которая использует лазерный луч для измерения расстояния до объектов на поверхности земли. Данные LiDAR позволяют создавать трехмерные модели лесного покрова и получать информацию о высоте деревьев, плотности крон и структуре леса [4]. Это позволяет: оценить вертикальную структуру леса, определить высоту деревьев, плотность крон и запас древесины. Изменения в структуре леса могут указывать на вырубку, повреждение ветром или зоологическую активность, а также, выявлять поврежденные или усохшие деревья на основе анализа формы крон и высоты деревьев. (рисунок 2)

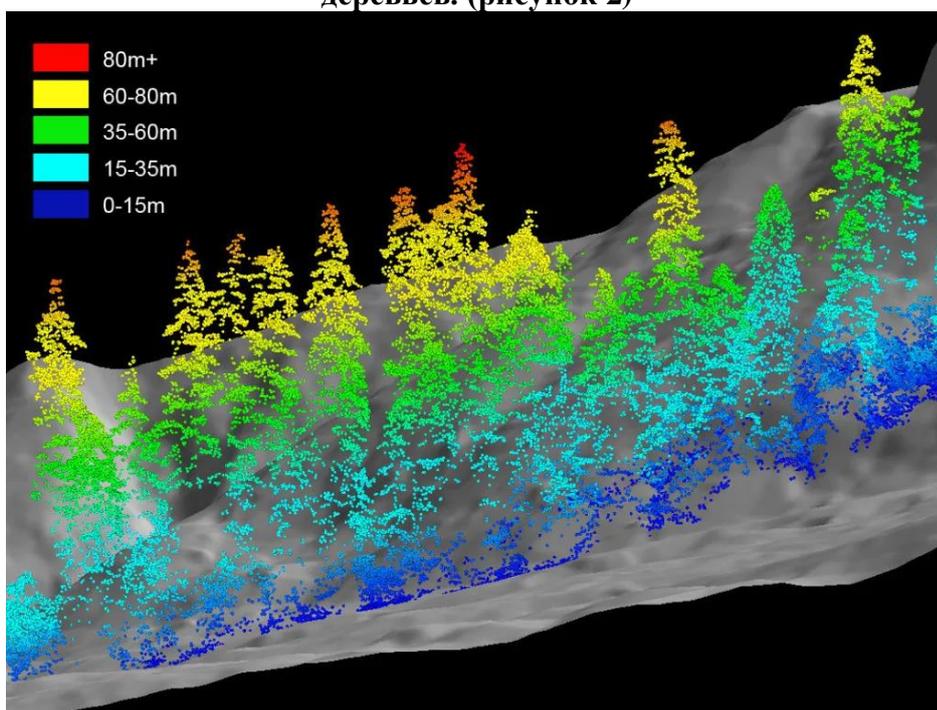


Таблица 1 пригодности данных БПЛА для выявления различных видов зоологической активности:

Вид зоологической активности	RGB-изображения	Мультиспектральные изображения	Данные LiDAR
Поражение деревьев короедом-типографом	+	+++	++
Повреждение крон деревьев животными	++	+	+

Вытаптывание растительности животными	+++	++	+
Распространение болезней растений	+	+++	+
Вырубка леса	+++	++	+++
Повреждение ветром	++	+	+++

"+" - пригодность низкая

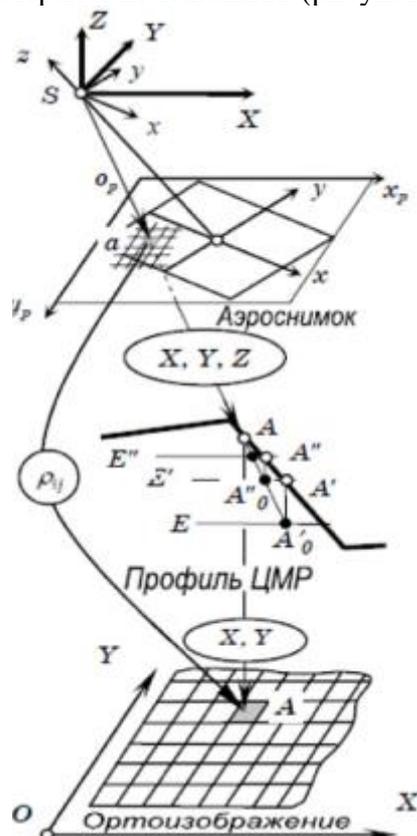
"++" - пригодность средняя

"+++" - пригодность высокая

Выбор типа данных БПЛА для анализа зоологической активности зависит от конкретной задачи, вида зоологической активности и доступных ресурсов.

Данные, получаемые с БПЛА, требуют предварительной обработки для устранения геометрических искажений, радиометрических ошибок и шумов, что необходимо для обеспечения точности последующего анализа и интерпретации. Основные методы предварительной обработки включают ортотрансформирование, калибровку и фильтрацию шумов.

Ортотрансформирование - это процесс геометрической коррекции изображений, в результате которого устраняются искажения, вызванные перспективой съемки, рельефом местности и наклоном камеры [7]. В результате ортотрансформирования создается ортофотоплан - изображение, обладающее свойствами карты, т.е. на котором все объекты отображаются в истинных размерах и положениях. (рисунок 3)



Используются разные методы ортотрансформирования, например:

- На основе опорных точек (GCP): Этот метод требует использования точно определенных опорных точек (GCP - Ground Control Points), координаты которых известны с высокой точностью. GCP используются для построения математической модели, которая связывает координаты пикселей на изображении с координатами на местности.
- На основе данных о положении и ориентации камеры (Direct Georeferencing): Этот метод использует данные о положении и ориентации камеры

(полученные с помощью GPS/IMU) для непосредственного расчета координат пикселей на изображении. Этот метод не требует использования GCP, но требует более точной калибровки сенсора.

Радиометрическая калибровка - это процесс коррекции яркости пикселей на изображении для устранения влияния различных факторов, таких как изменения освещения, атмосферные эффекты и характеристики сенсора. Радиометрическая калибровка необходима для обеспечения сопоставимости данных, полученных в разное время и в разных условиях освещения[8]. Методы радиометрической калибровки:

- Калибровка на основе эталонных поверхностей: Этот метод требует использования эталонных поверхностей с известными значениями отражательной способности. Яркость пикселей на изображении корректируется таким образом, чтобы она соответствовала отражательной способности эталонных поверхностей.
- Атмосферная коррекция: Этот метод использует модели распространения электромагнитного излучения в атмосфере для учета влияния атмосферных эффектов на яркость пикселей.
- Калибровка на основе данных о характеристиках сенсора: Этот метод использует данные о характеристиках сенсора (например, о его спектральной чувствительности и темновом токе) для коррекции яркости пикселей.
- Влияние на точность: Радиометрическая калибровка повышает точность анализа спектральных характеристик объектов и обеспечивает сопоставимость данных, полученных в разное время. Неточная радиометрическая калибровка может привести к ошибкам при классификации объектов и при анализе изменений во времени.

Фильтрация шумов: Данные БПЛА могут содержать различные виды шумов, которые могут снижать точность анализа и интерпретации. Шумы могут быть вызваны различными факторами, такими как турбулентность воздуха, вибрация камеры и электронные помехи. Фильтрация шумов - это процесс удаления или уменьшения шумов на изображении[3]. Методы фильтрации шумов:

- Пространственная фильтрация: Этот метод использует фильтры, основанные на анализе пространственных окрестностей пикселей, для удаления шумов. Примеры пространственных фильтров: медианный фильтр, фильтр Гаусса, фильтр Собеля.
- Частотная фильтрация: Этот метод использует преобразование Фурье для анализа частотного состава изображения и удаления шумов в определенном диапазоне частот.
- Вейвлет-фильтрация: Этот метод использует вейвлет-преобразование для разложения изображения на различные частотные компоненты и удаления шумов на основе анализа вейвлет-коэффициентов.
- Влияние на точность: Фильтрация шумов повышает точность анализа изображений и улучшает визуальное качество данных. Однако, чрезмерная фильтрация может привести к потере полезной информации и снижению точности анализа.

Предварительная обработка данных БПЛА является необходимым этапом для обеспечения точности последующего анализа и интерпретации. Выбор конкретных методов предварительной обработки зависит от типа данных, задач исследования и доступных ресурсов.

Оптимизация планов полетов БПЛА для эффективного мониторинга зоологической активности требует учета множества факторов. Теоретически, задача оптимизации заключается в нахождении компромисса между разрешением снимков, площадью покрытия, временем полета и энергопотреблением. Высота полета обратно пропорциональна разрешению: меньшая высота позволяет обнаруживать мелкие объекты, но увеличивает время полета и риски, тогда как большая высота ускоряет сбор данных, но снижает детализацию. Перекрытие снимков (продольное и поперечное) необходимо для качественного построения ортофотопланов и 3D-моделей, особенно на сложном рельефе, но избыточное перекрытие увеличивает время полета и объем данных. Время суток влияет

на освещение и контрастность изображений: съемка в полдень может давать сильные тени, а утренние/вечерние часы – более мягкое освещение, но меньшую яркость. Оптимальное время зависит от задач, например, для тепловизионной съемки лучше подходит ночное время. Скорость полета влияет на размытие изображения: высокая скорость ускоряет сбор данных, но увеличивает размытие, а низкая – уменьшает его, но увеличивает время полета. Разработка рекомендаций требует учета взаимодействия всех факторов. Обнаружение мелких объектов требует низкой высоты, высокого перекрытия и мягкого освещения. Оценка распространения очагов – большей высоты, меньшего перекрытия и достаточной освещенности. Мониторинг ночной активности – тепловизионной съемки в темноте.

Пространственно-временной анализ данных БПЛА важен для отслеживания динамики зоологической активности. Используем пространственную статистику и анализ временных рядов, чтобы понять, как активность меняется в пространстве и времени. Анализ временных рядов помогает выявить тренды и прогнозировать изменения численности популяции или площади поражения, применяя модели ARIMA и другие. Обнаружение аномалий позволяет находить внезапные вспышки или неожиданные очаги активности, используя статистические методы, но важно правильно определить, что считается "нормальным". Анализ пространственной автокорреляции показывает, как активность связана в разных точках, например, кластеры очагов, что помогает понять факторы распространения.

Для классификации объектов зоологической активности применяем машинное обучение. Алгоритмы, такие как Random Forest, SVM и Deep Learning, позволяют автоматически распознавать виды животных или типы повреждений [5]. Random Forest устойчив к переобучению, SVM хорошо разделяет данные, а Deep Learning требует больших данных, но может быть очень точным. Важно правильно выбрать признаки, например, спектральные характеристики или текстуры, и использовать подходящие стратегии обучения для достижения высокой точности.

Интеграция данных БПЛА с другими источниками, например, данными метеостанций или наземных обследований, может значительно повысить точность анализа. Данные о погоде помогают понять влияние условий на активность животных, а данные наземных обследований – проверить результаты анализа БПЛА. Согласование различных типов данных и их объединение в единую платформу требует использования методов пространственной интерполяции и статистического моделирования. В целом, пространственно-временной анализ, машинное обучение и интеграция данных – это мощные инструменты для анализа зоологической активности с использованием данных БПЛА.

В настоящем теоретическом исследовании рассмотрены возможности применения интеллектуального анализа пространственно-временных данных, полученных с БПЛА, для детектирования и классификации объектов зоологической активности в лесном фонде. Анализ показал, что сочетание современных методов сбора данных и передовых алгоритмов обработки открывает новые перспективы для мониторинга и изучения экосистем.

Теоретически обоснована эффективность использования данных БПЛА различных типов (RGB, мультиспектральные, LiDAR) для выявления разнообразных признаков зоологической активности. Подробно рассмотрены методы предварительной обработки данных, такие как ортотрансформирование, радиометрическая калибровка и фильтрация шумов, подчеркнута их критическая роль в обеспечении геометрической и радиометрической точности, необходимой для дальнейшего анализа. Проанализированы методы пространственно-временного анализа, машинного обучения и интеграции разнородных данных, выявлены их преимущества и ограничения для решения различных задач мониторинга. Результаты теоретического анализа указывают на высокую перспективность предложенного подхода для автоматизации и повышения точности детектирования и классификации объектов зоологической активности. Использование

БПЛА позволяет получать данные с высоким пространственным и временным разрешением, недоступные при использовании традиционных методов мониторинга. Применение методов машинного обучения обеспечивает возможность автоматического распознавания и классификации объектов на основе их спектральных, текстурных и геометрических характеристик.

Данное исследование вносит вклад в теоретическое обоснование применения ИАД для мониторинга зоологической активности в лесном фонде, предлагая комплексный подход, основанный на сочетании современных технологий сбора данных и передовых методов анализа. Полученные результаты могут быть использованы для разработки эффективных систем мониторинга и управления лесными ресурсами, а также для проведения фундаментальных исследований в области экологии и зоологии.

Список литературы

1. Алексеенко, Н.А. Опыт использования беспилотных летательных аппаратов в биогеографических исследованиях на территории заповедника «Белогорье» / Н.А. Алексеенко, А.А. Медведев, И.А. Карпенко // ИнтерКарто/ИнтерГИС-20: Устойчивое развитие территорий: картографо-геоинформационное обеспечение : Мат-лы междунар. конф., Белгород, Харьков (Украина), Кигали (Руанда) и Найроби (Кения), 23 июля-8 августа 2014 г. Белгород: «Константа», 2014. С. 69-80.
2. Белов М.Л., Белов А.М., Городничев В.А., Альков С.В. Анализ возможностей мультиспектрального оптического метода мониторинга лесных территорий. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2022. № 4 (141). С. 56-69.
3. Волков Д.М., Савельев А.И. Метод фильтрации шумов в сигнале гироскопического датчика на основе адаптивного альфа-бета-фильтра калмана // Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация // Вестник ЮУрГУ. Серия «Математика. Механика. Физика». 2024. Том 16. № 4. С. 16–23.
4. Лидар. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D0%B4%D0%B0%D1%80> (дата обращения 27.08.2025).
5. Ляпин А.Д. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ SVM (SUPPORT VECTOR MACHINE) И RF (RANDOM FOREST) // Международный научный журнал «ВЕСТНИК НАУКИ». № 6 (87). Том 3. ИЮНЬ 2025. С. 1816-1823.
6. Медведев А.А., Алексеенко Н.А., Карпенко И.О. Мониторинг животного мира на особо охраняемых территориях с помощью беспилотных летательных аппаратов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Том 17. № 6. 2015. С. 304-309.
7. Ортотрансформирование (ортокоррекция) изображения (снимка). URL: <https://tochno-rostov.ru/useful/slovar-geodeziya/o/ortotransformirovanie-ortokorreksiya-izobrazheniya-snimka.html> (дата обращения 27.08.2025).
8. Радиометрическая коррекция. URL: http://geol.irk.ru/baikal/dzz/pr_us/rad_corr.htm (дата обращения 27.08.2025)
9. Цветовое пространство RGB простыми словами. URL: https://doprof.ru/professii/tsvetovoe-prostranstvo-rgb-prostymi-slovami/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F (дата обращения 26.08.2025).

References

1. Alekseenko, N. A., Medvedev, A. A., & Karpenko, I. A. (2014). Opyt ispol'zovaniya bespilotnykh letatel'nykh apparatov v biogeograficheskikh issledovaniyakh na territorii zapovednika "Belogor'e" [The experience of using unmanned aerial vehicles in biogeographical research on the territory of the "Belogorye" Nature Reserve]. In InterCarto/InterGIS-20: Sustainable development of territories: Cartographic and geoinformation

- support : *Proceedings of the International Conference*, Belgorod, Kharkiv (Ukraine), Kigali (Rwanda) and Nairobi (Kenya), July 23-August 8, 2014 (pp. 69-80). Konstanta.
2. Belov, M. L., Belov, A. M., Gorodnichev, V. A., & Al'kov, S. V. (2022). Analiz vozmozhnostey mul'tispektral'nogo opticheskogo metoda monitoringa lesnykh territoriy [Analysis of the capabilities of the multispectral optical method for forest area monitoring]. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Priborostroenie*, (4) (141), 56–69.
 3. Volkov, D. M., & Savelyev, A. I. (2024). Metod fil'tratsii shumov v signale giroskopicheskogo datchika na osnove adaptivnogo al'fa-beta-fil'tra Kalmana [A method for noise filtering in a gyroscopic sensor signal based on an adaptive alpha-beta Kalman filter]. *Vestnik YuUrGU. Seriya "Matematika. Mekhanika. Fizika"*, 16 (4), 16–23.
 4. Lidar. (2025, August 27). In *Wikipedia*. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D0%B4%D0%B0%D1%80>.
 5. Lyapin, A. D. (2025). Sravnitel'nyy analiz algoritmov SVM (Support Vector Machine) i RF (Random Forest) [Comparative analysis of SVM (Support Vector Machine) and RF (Random Forest) algorithms]. *International Scientific Journal "Vestnik Nauki"*, 3 (6)(87), 1816–1823.
 6. Medvedev, A. A., Alekseenko, N. A., & Karpenko, I. O. (2015). Monitoring zhivotnogo mira na osobo okhranyaemykh territoriyakh s pomoshch'yu bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Monitoring wildlife in specially protected areas using unmanned aerial vehicles]. *Izvestiya Samarskogo Nauchnogo Tsentra Rossiyskoy Akademii Nauk*, 17 (6), 304–309.
 7. Orthotransformirovanie (ortokorreksiya) izobrazheniya (snímka) [Orthotransformation (orthocorrection) of an image (photograph)]. (n.d.). *Tochno-Rostov*. Retrieved August 27, 2025. URL: <https://tochno-rostov.ru/useful/slovar-geodeziya/o/ortotransformirovanie-ortokorreksiya-izobrazheniya-snimka.html>.
 8. Radiometricheskaya korrektsiya [Radiometric correction]. (n.d.). *Geol.irk.ru*. Retrieved August 27, 2025. URL: http://geol.irk.ru/baikal/dzz/pr_us/rad_corr.htm.
 9. Tsvetovoe prostranstvo RGB prostymi slovami [RGB color space in simple terms]. (n.d.). *Doprof.ru*. Retrieved August 26, 2025. URL: https://doprof.ru/professii/tsvetovoe-prostranstvo-rgb-prostymi-slovami/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F.