

УДК 528.7

А.О. Мартинов, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.;
Г.С. Литвинович, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.;
А.А. Ломако, зав. лабораторией; О.О. Красовская, науч. сотр.;
Б.И. Беляев, д-р физ.-мат. наук, зав. отделом;
Л. В. Катковский, д-р физ.-мат. наук, зав. лабораторией
(НИИПФП им. А. Н. Севченко БГУ, г. Минск)

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ СПЕКТРОВ ОТРАЖЕНИЯ И ВЫЯВЛЕНИЕ ЗНАЧИМЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ КАНАЛОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ХВОЙНЫХ ЛЕСОВ ПРИ СЪЕМКЕ С БПЛА

Леса по всему миру сталкиваются с комплексным воздействием природных и антропогенных факторов, вызывающих их деградацию в различной степени [1]. В течение последних лет эта проблема приобрела особую значимость для экосистем Республики Беларусь и Российской Федерации, где отмечается прогрессирующее усыхание хвойных насаждений [2, 3]. Зоны поражения древостоев не только расширяются по площади, но и охватывают новые географические регионы. Процесс гибели хвойных пород характеризуется стадийностью, что подчеркивает необходимость внедрения научно обоснованных подходов к дистанционному выявлению признаков ослабления деревьев на начальных этапах.

Для создания спектральных методов оценки и отслеживания патологий лесных экосистем в Беларуси были проведены комплексные исследования в Неманицком и Борисовском лесничествах. Эти территории выбраны как модельные участки, где зафиксированы очаги усыхания, спровоцированные активностью короеда-типографа. Многоуровневый анализ данных позволил установить взаимосвязь между спектральными характеристиками насаждений и динамикой их повреждения.

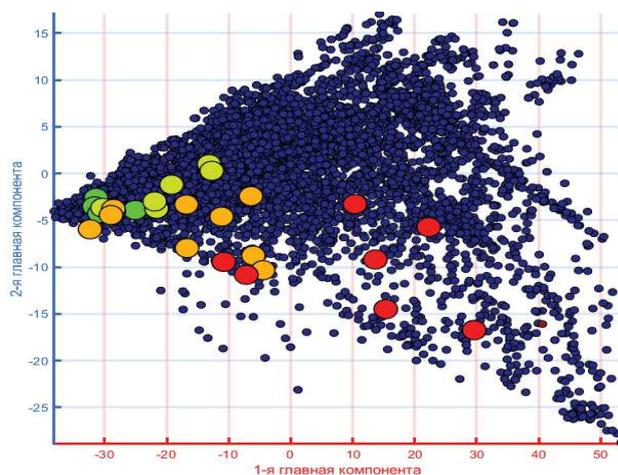
Авиационные измерения проводились с использованием беспилотного спектрометрического комплекса БЕКАС [4], обеспечивающего регистрацию спектров отражения с высоким разрешением в видимом диапазоне и синхронизированных геопривязанных изображений подстилающей поверхности. Для калибровки данных коэффициенты спектральной яркости рассчитывались на основе измерений наземного спектрометра, выполненных для эталонной светорассеивающей панели МС-20.

Обработка данных включала:

– Проекцию 8000 спектров отражения, зарегистрированных БЕКАС, в пространство главных компонент, что позволило выполнить

первичную классификацию без обучения [5] и сформировать выборку из 5000 спектров елей, исключив данные других объектов (рисунок 1 – синие точки).

– Разметку спектров елей (≈ 50 спектров) по степени усыхания на основе экспертной оценки лесопатологов (рисунок 1 – круги разных цветов).



Категории усыхания: ① ② ④ ⑤

Рисунок 1 – Отображение КСЯ кроны елей в осях первых двух главных компонент

Затем производилось разбиение выборки спектров ели на различные степени усыхания с использованием уже размеченных при помощи лесопатологов данных. Классификация размеченной выборки, состоящей из приблизительно 2000 спектров, выполнялась с использованием алгоритма Random Forest [6]. Этот алгоритм автоматически определял информативно значимые спектральные каналы БЕ-КАС и генерировал весовые коэффициенты влияния длин волн на распознавание состояний деревьев (рисунок 2).

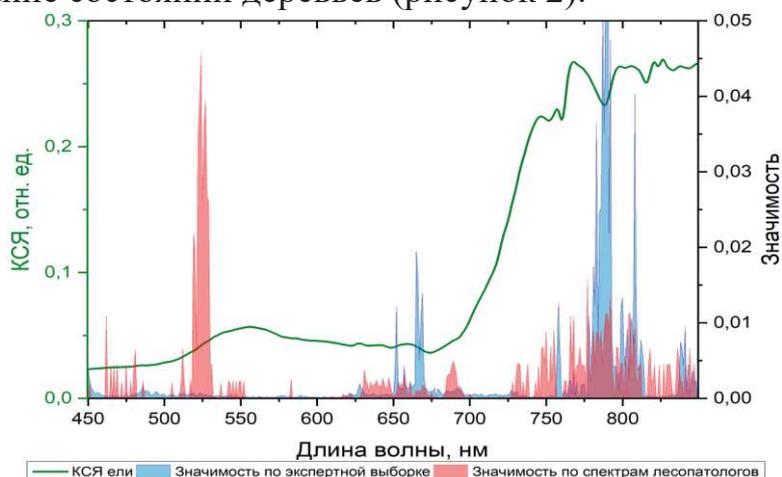


Рисунок 2 – Значимые спектральные диапазоны, выделенные в результате классификации алгоритмом Random Forest

Результаты выявили ключевые спектральные диапазоны для дифференциации ранних стадий усыхания хвои.

Эти спектральные диапазоны (510–530 нм, 625–700 нм, 750–900 нм) особенно полезны для создания специализированной мультиспектральной аппаратуры и выбора спектральных каналов спутниковых сенсоров для решения задачи превентивного мониторинга патологий хвойных насаждений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Faccoli M., Finozzi V., Colombari F. Effectiveness of different trapping protocols for outbreak management of the engraver pine beetle *Ips acuminatus* (Curculionidae, Scolytinae) // *International Journal of Pest Management*. № 58 (3). 2012. P. 267–273.

2. Усеня В.В., Севницкая Н.Л., Помаз Г.М. Исследование видового состава ксилофагов в порубочных остатках на вырубках усыхающих сосновых насаждений и способов их утилизации // *Проблемы лесоведения и лесоводства : сборник научных трудов / Национальная академия наук Беларуси, Институт леса. – Гомель : Институт леса НАН Беларуси. 2021. № 81. С. 91–99.*

3. Сазонов А.А. Звягинцев В.Б. Биологический пожар в сосновых лесах // *Лесное и охотничье хозяйство. 2016. № 6. С. 9–13.*

4. Lamaka A.A., Gutarau A.V., Shcherbakou N.G., Ivuts P.V. Photospectral Data Obtaining with the Unmanned Aerial Spectrometry Vehicle // *Приборы и методы измерений. 2023. № 14(1). P. 7–17.*

5. Мартинов А.О. Классификация состояний усыхания ели обыкновенной на основе спектров отражения // *Журнал Белорусского государственного университета. Физика. 2022. №3. С. 26–38.*

6. Силюк О.О., Литвинович Г.С., Бручковский И.И., Катковский Л.В., Беляев М.Ю., Сармин Э.Э. Классификация стрессовых состояний ели обыкновенной по спектральным характеристикам при дистанционных измерениях // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19, № 5. С. 125–135.*