

Определение коэффициентов спектральной яркости природных объектов с борта авианосителя и результаты классификации по типам подстилающей поверхности

Гуляева С.И., Литвинович Г.С.

Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем имени
А.Н.Севченко» Белорусского государственного университета, г. Минск, РБ

Введение

В последнее время в РБ стала особенно острой проблема поражения хвойных деревьев жуком-короедом. Типичным его проявлением является внезапное образование в лесу групп усыхающих деревьев сосны с ярко-рыжей окраской хвои. Пораженная хвоя, как правило, имеет следующие симптомы: изменение окраски хвои, потеря блеска хвойных иголок, поредение кроны с постепенным превращением дерева в сухостой.

Непосредственной причиной гибели сосен в очагах короедного усыхания сосны является их заселение стволовыми вредителями и поражение патогенными организмами, которые привносятся короедами при заселении живых деревьев.



Очаг короедного усыхания сосны на начальной стадии

В этой связи представляет интерес оперативный мониторинг состояния лесных насаждений и определение участков усыхающих территорий леса, что зачастую осуществляется с помощью данных дистанционного зондирования земли. Использование результатов анализа данных дистанционного зондирования может служить также для контроля за состоянием лесных угодий и оценки ущерба от повреждений жуком-короедом.

В работе представлены:

- результаты летных авиационных экспериментов по спектрометрированию участков леса;
- описание технологии получения из исходных «сырых» данных коэффициентов спектральной яркости КСЯ объектов в поле зрения спектрометра (включая процедуры коррекции данных и спектрально-энергетической калибровки), а также наземной съемки диффузной пластины в условиях летных измерений;
- результаты классификации по вегетационным индексам для отнесения к типам растительности «усыхающая хвоя», «сухостой», «здоровая растительность», «подлесок», «почвы».

Описание оборудования

В экспериментах участвовали спектрометры **ФСР-02** и **ССП-600** разработки НИИ ПФП им. А.Н. Севченко БГУ, способные регистрировать непрерывный спектр в диапазоне длин волн 400-900 нм. Спектрометр **ФСР-02** был установлен на борту самолета Diamond DA40NG, а спектрометр **ССП-600** регистрировал спектры диффузной пластины на поверхности земли.

В обоих спектрометрах используется вогнутая дифракционная решетка в качестве диспергирующего элемента и неохлаждаемый линейный ПЗС-детектор.

Технические характеристики спектрометров **ФСР-02** и **ССП-600**

Характеристика	Спектрометр	
	ССП-600	ФСР-02
Спектральный диапазон, нм	400 – 900	400 – 900
Спектральное разрешение (450 нм), нм	4,5	4,3
Угловое поле зрения, °	3×0,5	1,5×0,5
Разрядность АЦП, бит	12	12
Количество пикселей	3648	3648
Встроенная пластина для коррекции 2 порядка дифракции	нет	есть



Спектрометр **ФСР-02** с обзорной фотокамерой, установленные на борту самолета Diamond DA40NG:
1 – спектрометр **ФСР-02**;
2 – обзорная фотокамера.

Для регистрации фотоизображений в процессе летного эксперимента применялась обзорная RGB камера Defender WebCam G-Lens 2577 HD720p с частотой кадров 28 к/с и разрешением фото при данной частоте съемки 640×480 пикселей.

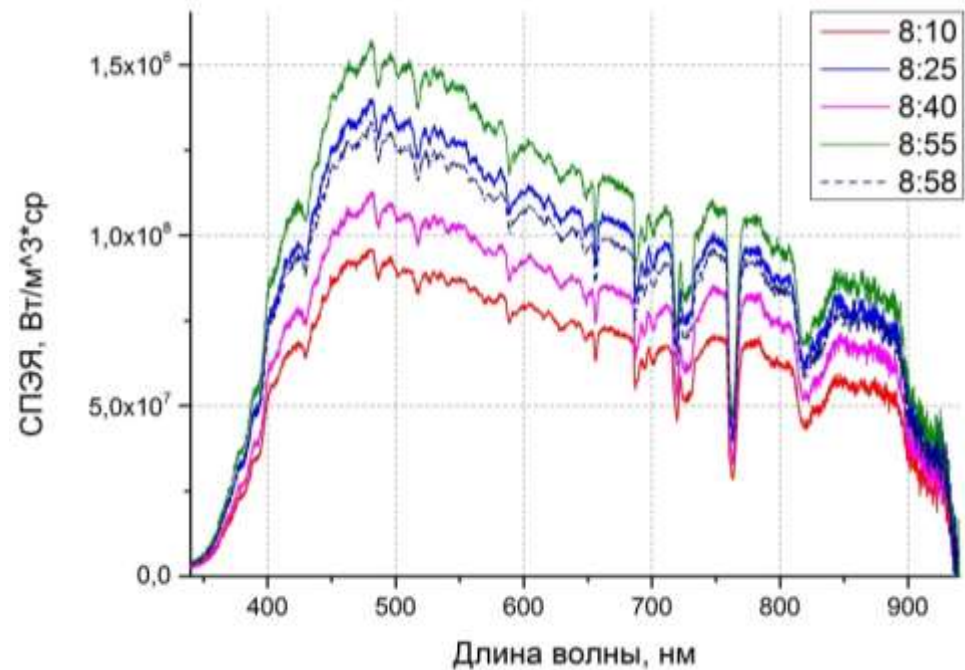
Наземная установка и пример получаемых данных ССП-600

Для преобразования получаемых спектральных данных из единиц СПЭЯ (спектральной плотности энергетической яркости) в коэффициент спектральной яркости (КСЯ) проводились синхронные с авиационными наземные измерения диффузной пластины спектрометром ССП-600 с частотой 2 раза в секунду. Установка для измерения эталонного отраженного излучения располагалась в 120 м от края тестового участка леса.



Установка для наземной регистрации спектров:

- 1 – спектрометр ССП-600;
- 2 – штатив с кронштейном;
- 3 – диффузная пластина;
- 4 – управляющий компьютер

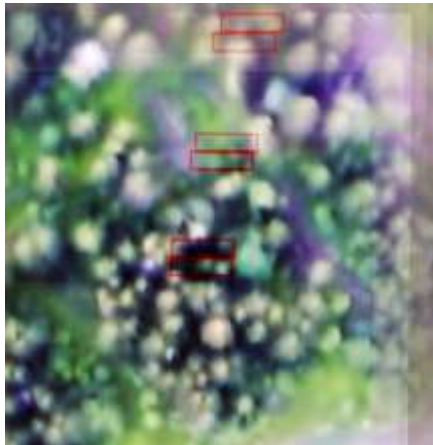
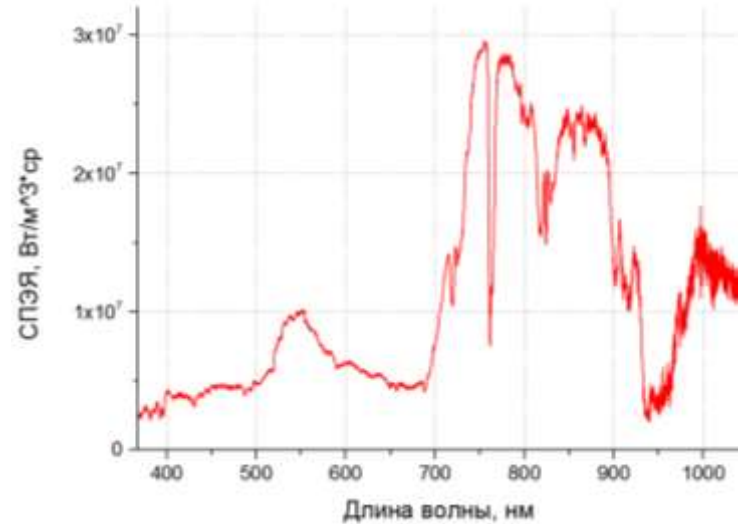


Спектры молочного стекла ССП-600 в различное время регистрации в единицах спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ) после выполнения процедуры коррекции второго порядка дифракции

Пример получаемых данных ФСР-02

Получаемые с авианосителя спектральные данные имеют геопривязку и соответствующие им RGB-изображения.

Фотоизображение обзорной камеры с борта самолета с обозначенным полем зрения спектрометра ФСР-02 и соответствующий ему спектр в единицах СПЭЯ



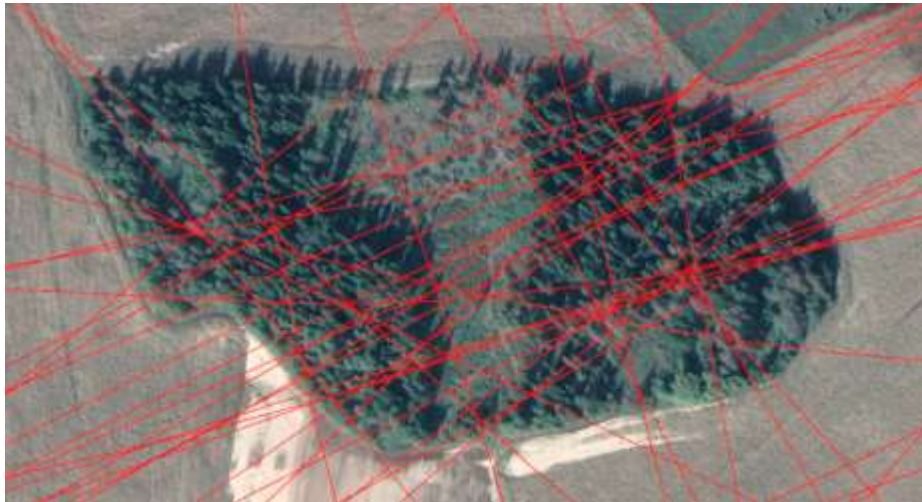
Области спектрометрирования в моменты начала и окончания съемки спектра при полете на высоте 448 м для трех последовательных спектров ФСР-02 (время экспозиции 100 мс).



Области спектрометрирования в моменты начала и окончания съемки спектра ФСР-02 при полете на высоте 130 м (время экспозиции 75 мс).

Описание эксперимента

10.07.2020 г. над территорией Кайковского лесничества Минской области проводился летный эксперимент с целью получения спектральных характеристик объектов подстилающей поверхности. Эксперимент включал в себя спектрометрирования с борта авианосителя исследуемого участка леса ($53,651749^\circ$ с.ш., $27,642275^\circ$ в.д.) и наземную регистрацию спектров диффузной пластины.



Изображение исследуемого участка леса и маршруты пролетов над ним

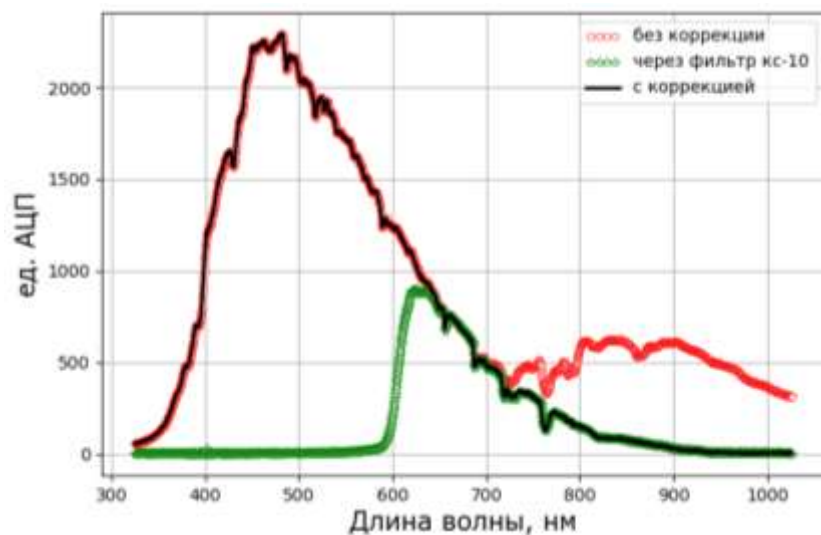
Характеристики летного эксперимента:

- Время полета - 1 ч 53 мин
- Высота полета от 212 до 906 м, средняя скорость полета – 155 км/час, максимальная – 268 км/час.
- 13315 кадров обзорной камерой
- 13314 спектров подстилающей поверхности
- 12739 спектров диффузной пластины

Предварительная обработка спектральных данных

Этапы предварительной обработки:

- Градуировка спектра по длинам волн (с использованием ртутной лампы)
- Коррекция второго порядка дифракции для данных ССП-600. Алгоритм коррекции второго порядка дифракции построен на разложении спектра по аппаратным функциям спектрометра с последующим вычитанием составляющей второго порядка дифракции, пропорциональной амплитуде вызвавшей ее аппаратной функции в первом порядке [1].



Спектр с фильтром КС-10 представляет собой «истинный» спектр объекта в диапазоне 650 - 1000 нм, не подверженный влиянию порядков дифракции ввиду отсекаания излучения с длиной волны менее 600 нм.

Результат коррекции дифракции II порядка для спектра неба ССП-600

- Радиометрическая коррекция (с использованием лабораторной калибровки прибора по фотометрической сфере ДИ-12)
- Расчет коэффициента спектральной яркости по формуле

$$КСЯ(\lambda_i) = \frac{R_{\text{ФСР}}(\lambda_i)}{R_{\text{ССП_МС}}(\lambda_i)}$$

где λ_i — длина волны; $R_{\text{ФСР}}(\lambda_i)$ — яркость изучаемого объекта, измеренная спектрометром ФСР-02, в единицах СПЭЯ;

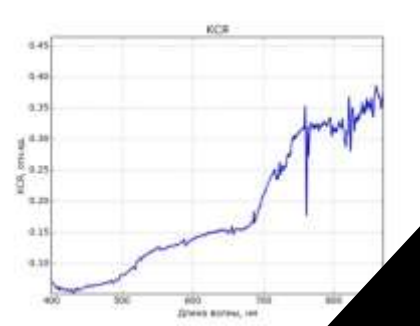
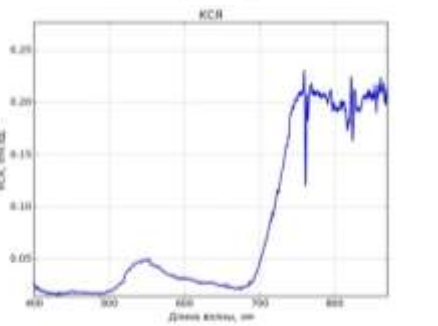
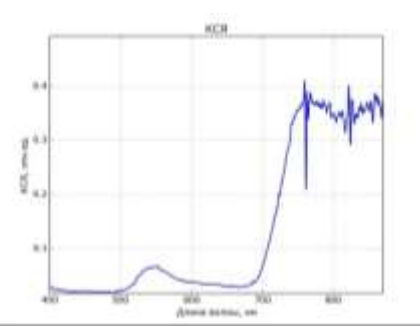
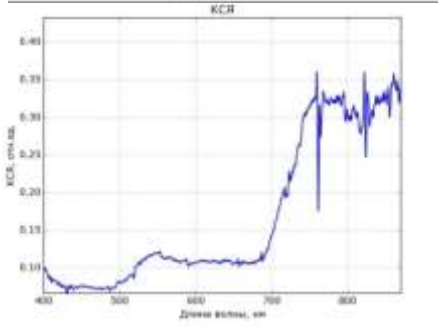
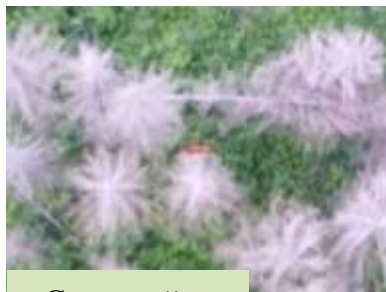
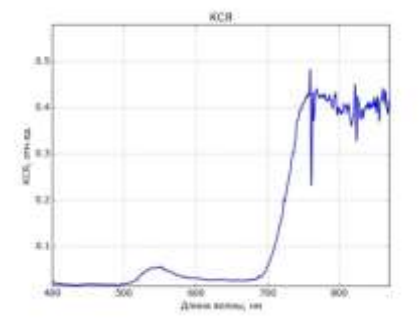
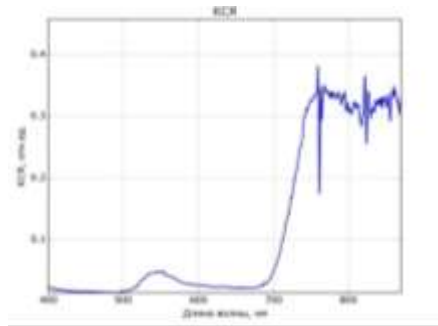
$R_{\text{ССП_МС}}(\lambda_i)$ — яркость диффузной пластины, измеренная ССП-600, в единицах СПЭЯ.

Создание обучающей выборки

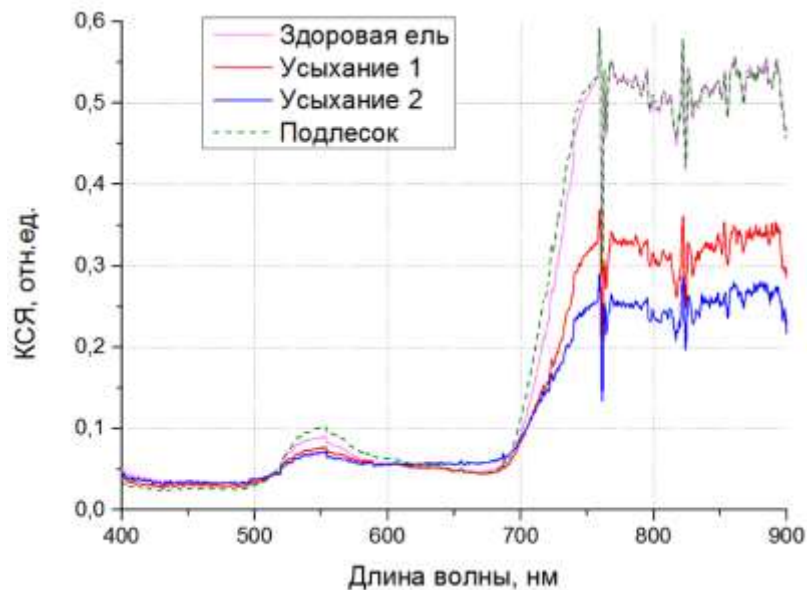
Обучающая выборка спектров КСЯ создавалась для 6 классов подстилающей поверхности, наиболее представленных среди рассматриваемого лесного полигона:

- «здоровая хвоя»
- «лиственные деревья»
- «усыхающая хвоя»
- «сухостой»
- «подлесок»
- «почвы»

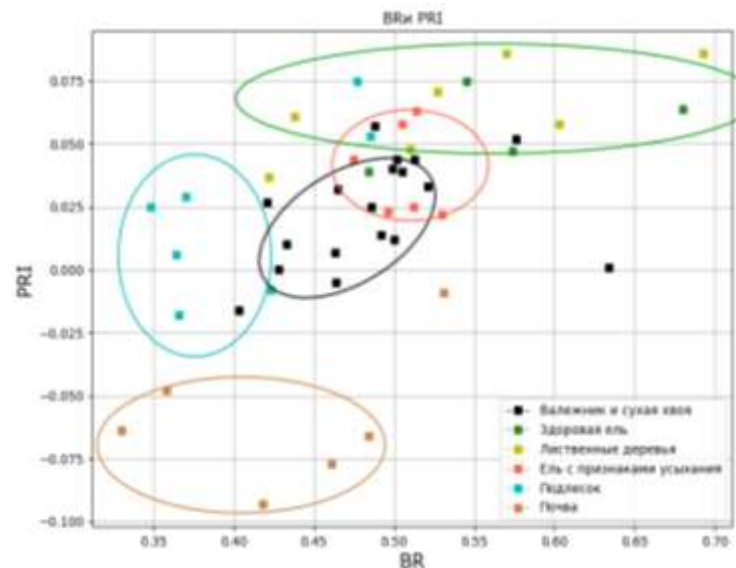
Для каждого из классов проводился отбор характерных спектров КСЯ из всего измеренного массива путем визуального анализа связанных со спектрами фотоизображений. Пример фотоизображений и спектров КСЯ классов обучающей выборки:



Применение вегетационных индексов к анализу спектров усыхающей хвои



Зависимости КСЯ елей с различными степенями усыхания и подлеска



Зависимость индексов PRI(BR) для спектров обучающей выборки

Спектры КСЯ классов «Подлесок» и «Здоровая ель» практически неотличимы друг от друга

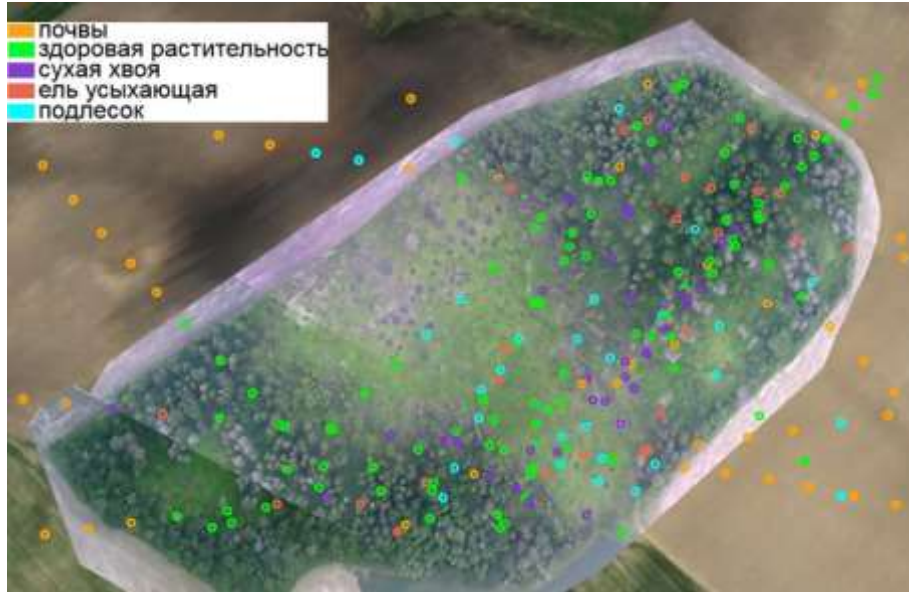
Видны различия между классами «Здоровая ель» и «Подлесок»

$$PRI = \frac{R_{531} - R_{570}}{R_{531} + R_{570}}, BR = \frac{R_{625}}{R_{795}}$$

где R_λ – значение спектра КСЯ на длине волны λ

Классификация спектральных данных

В работе применялся метод линейного дискриминантного анализа (ЛДА) с обучением, входными данными для которого служили значения более 50 вегетационных индексов для выделенных типов растительности согласно созданной обучающей выборке. Количество данных, участвующих в обучающей выборке – 20 % от общего числа. Классы «Здоровая хвоя» и «Лиственные деревья» были объединены в общий класс «Здоровая растительность»



Результат классификации авиационных спектров методом ЛДА с обучением

Оценка точности классификации методом ЛДА

Класс растительности	Процент правильно классифицированных спектров от общего количества, %
Подлесок	71,9
Почвы	88,7
Усыхающая хвоя	30,0
Здоровая растительность	80,9
Сухая хвоя	43,5

Выводы

Представленная методика позволяет проводить классификацию полетных данных в автоматическом режиме, что является удобным инструментом анализа окружающей среды. С применением вегетационных индексов достигается достаточно высокая точность классификации (более 70 %) для отдельных классов растительности. Вместе с тем, для более точного определения усыхающей хвои требуется в будущем проводить измерения при более низкой скорости движения носителя и контролировать качество классификации с помощью фотокамер высокого пространственного разрешения.

Список использованных источников

[1] С.И. Бручковская, Г.С. Литвинович, И.И Бручковский, Л.В. Катковский. Алгоритм коррекции дифракции второго порядка дифракции в спектрометре с вогнутой дифракционной решеткой // Журнал прикладной спектроскопии – 2019.– т.86, №4 – С. 620–626.