



Методика измерения коэффициентов спектральной яркости и спектров пропускания растительных объектов

*Бручковский И.И. (1, 2), Силюк О.О. (1), Литвинович Г. С. (1),
Ломако А.А. (1), Станчик В.В. (1), Гуляева С.И. (1)*

E-mail: bruchkovsky2010@yandex.ru

(1) НИИ «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко» БГУ, Минск, РБ

(2) Национальный Научно-исследовательский Центр Мониторинга Озоносферы БГУ, Минск, РБ



Введение

Актуальной задачей дистанционного зондирования является измерение коэффициентов спектральной яркости растительных объектов в лабораторных условиях, с целью расчета из них значений характеристических индексов для их сопоставления с результатами авиационных и спутниковых измерений. В частности, интерес представляет задача дистанционного мониторинга состояния здоровья хвойных лесов [1], так как за последние десятилетия состояние хвойных лесов Беларуси значительно ухудшилось вследствие изменения климатических условий, что привело к распространению вершинного короеда и других заболеваний. Одним из способов противодействия распространению заболеваний древостоев является раннее обнаружение очагов поражения с последующей санитарной вырубкой, поэтому задача поиска и расчета характеристических вегетационных индексов весьма актуальна.

Целью данной работы являлось создание автоматизированного лабораторного гониофотометра CHERRY (*CHlorophyll Estimation and Reflectance Registration sYstem*), оптимизированного для измерений оптических характеристик хвои, а именно: получение первых результатов измерений КСЯ(λ) образцов хвои для надирной геометрии визирования для иголок ели (*Picea abies*) и количественных измерений цветных пигментов в изучаемых образцах хвои, среди которых присутствовали образцы, взятые с деревьев, имеющих различные степени усыхания.



Описание гониофотометра

Общая схема гониофотометра представлена на рис. 2: исследуемый образец, расположенный на вращающейся платформе 5, освещается имитатором солнца 18-20 и/или имитатором неба 7-9. Отраженный от образца оптический сигнал направляется плоским зеркалом 15 в систему освещения входной щели 14 спектрометра 10 так, что реализуется надирная геометрия измерений спектров отражения образца.

Спектрометр M150 10 имеет возможность автоматической смены дифракционных решеток и перенаправления оптического сигнала на один из двух детекторов – видимого (Hamamatsu S7031-1006S) 11 и ИК диапазона (Hamamatsu G9208-256) 13 при помощи плоского зеркала 12.

Кроме того, предусмотрена возможность автоматической установки полосовых фильтров в систему освещения 14 для исключения высших порядков дифракции.

Схема гониофотометра

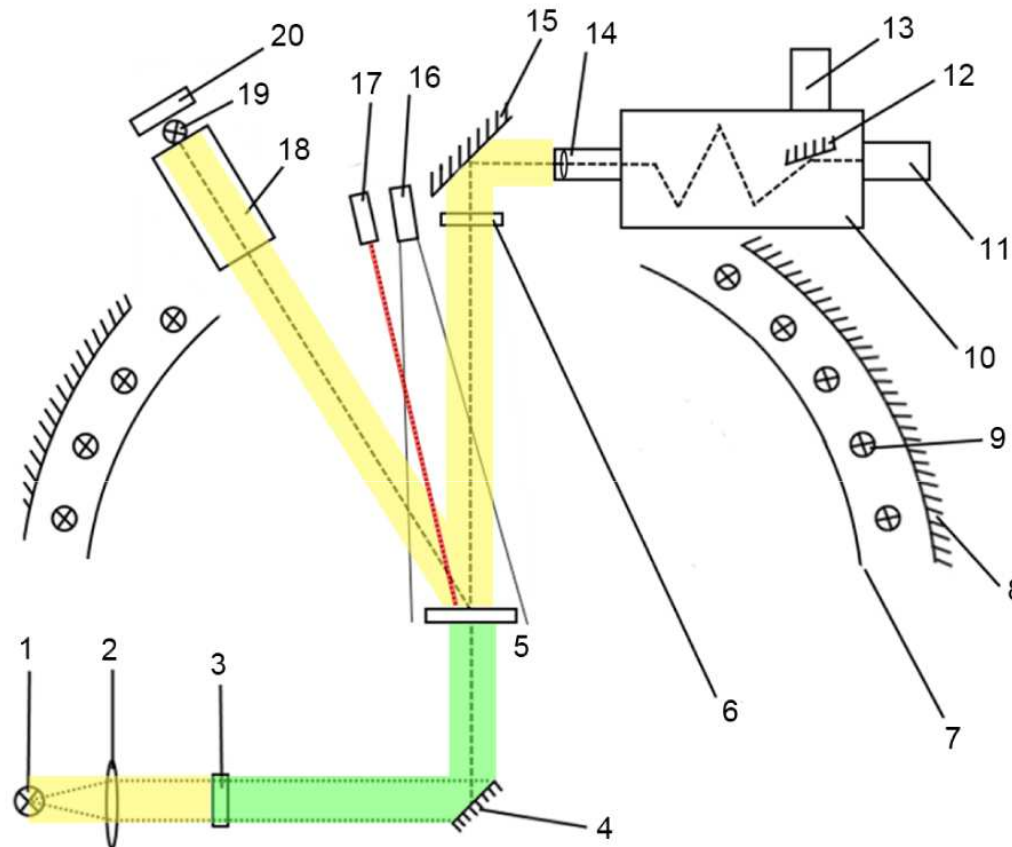


Рис. 1. – Схема гониофотометра CHERRY: 1, 19 – источники излучения, 2 – собирающая линза, 3 – кювета с раствором пигментов, 4, 15 – плоское зеркало, 5 – вращающаяся платформа, 6 – поляриод, 7 – диффузный рассеиватель, 8 – зеркальный отражатель, 9 – светодиод белый, 10 – спектрометр M150, 11 – детектор на диапазон 0.4 – 1.0 мкм, 12 – зеркало выбора детектора, 13 – детектор на диапазон 1.0 – 2.5 мкм, 14 – система освещения входной щели спектрометра, 16 – камера, 17 – красный лазер, 18 – коллиматор, 20 – вогнутое зеркало



Метод

Для вычисления КСЯ(λ) исследуемых объектов, помимо регистрации спектра самого объекта, используется опорный спектр белой диффузной пластинки. Регистрация опорного спектра осуществляется для каждой регистрации спектра отражения исследуемого объекта путем замены объекта белой диффузной пластинкой, что реализовано при помощи моторизованной оптической платформы. Значения КСЯ(λ) рассчитываются как для видимого, так и для ИК-диапазона по формуле:

$$\text{КСЯ}(\lambda) = \frac{\text{Spec}_{\lambda}^{\text{obj}} \cdot k_1}{\text{Spec}_{\lambda}^{\text{ref}} \cdot k_2},$$

где $\text{Spec}_{\lambda}^{\text{obj}}$ – спектр отражения объекта, ед. АЦП; $\text{Spec}_{\lambda}^{\text{ref}}$ – опорный спектр, ед. АЦП; k_1, k_2 – поправки к линейности по экспозициям для спектра отражения объекта, которые определялись для обоих детекторов применяемого спектрометра Solar M150 в ходе отдельной калибровочной процедуры и считаются известными.

Сущность калибровочной процедуры состояла в регистрации сигнала высокостабильного протяженного источника излучения с известными градациями яркости на различных временах экспозиции. После чего производился анализ уровней полученного сигнала, определялись область линейности детектора по экспозициям и коэффициенты для пересчета интенсивностей на одной экспозиции при другой экспозиции (поправки).

Настройки



Справа представлены экспериментально подобранные настройки параметров работы спектрометра M150.

Рабочие параметры спектрометра подобраны таким образом, чтобы обеспечивался минимальный разброс в значениях регистрируемого сигнала для соседних спектральных интервалов и времени экспозиции с целью снижения погрешности расчетов значений КСЯ(λ).

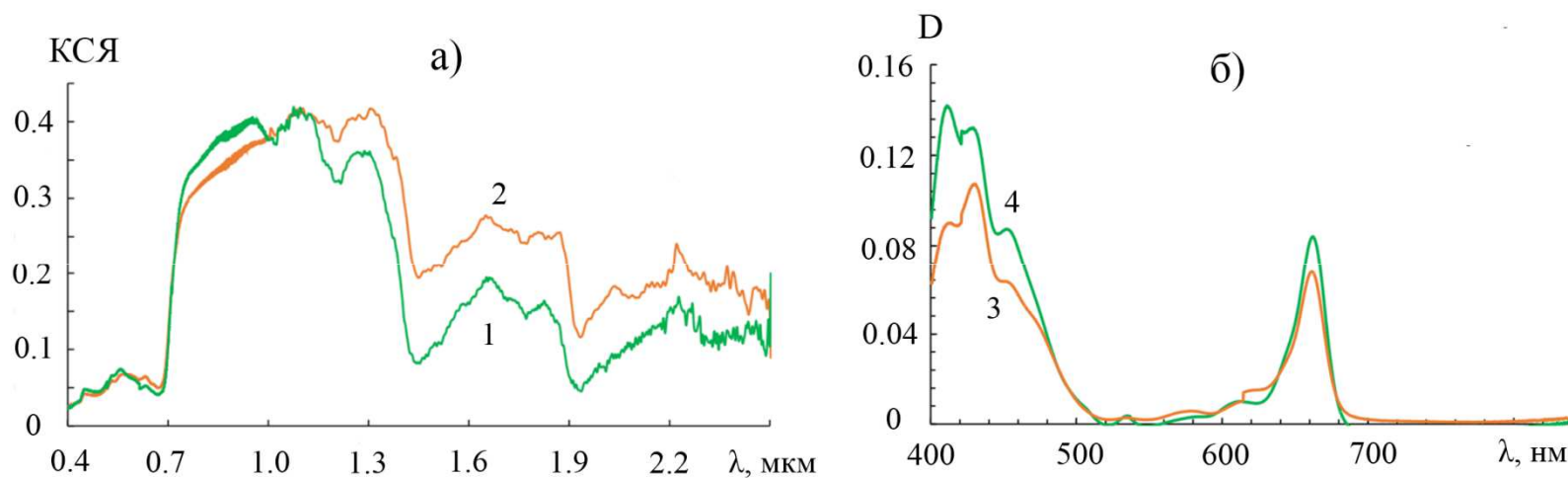
Как для расчета значений КСЯ(λ), так и для измерений спектров пропускания вытяжки пигментов, использовались экспериментально подобранные настройки (табл. 1) параметров работы спектрометра M150. Для регистрации спектров отражения использовалась ширина входной щели 250 мкм, для регистрации спектров пропускания – 40 мкм. Время экспозиции варьировалось в пределах 8-1500 мс в зависимости от центральной длины волны, наименования и состояния изучаемого объекта.

Таблица 1. Использованные настройки спектрометра M150

Для регистрации спектров отражения							
Центр. длина волны, нм	460	480	515	560	660	770	890
Используемый интервал, пикс	1 – 313	1 – 345	1 – 1024	1 – 1024	1 – 1024	1 – 1024	1 – 1024
Для регистрации спектров пропускания							
Центр. длина волны, нм	460	480	515	560	660	770	
Используемый интервал, пикс	1 – 313	1 – 345	1 – 1024	1 – 1024	1 – 1024	1 – 1024	



Для регистрации спектров отражения использовалось непрерывное вращение образца вокруг своей оси, усреднение по 40 измерениям. Измерения в данном случае совершаются при различных случайных положениях вращающегося образца. На рисунке ниже представлены примеры (первые результаты) измерений оптических параметров иголок ели.



**Рис. 2. – Результаты измерений оптических параметров иголок ели:
спектры $K_{СЯ}(\lambda)$ различных образцов хвои (а):
1 – здоровой хвои, 2 – больной хвои,
нормированная оптическая плотность D различных образцов хвои (б):
3 – больной хвои, 4 – здоровой хвои**



Для регистрации спектров отражения использовалось непрерывное вращение образца вокруг своей оси, усреднение по 40 измерениям. Измерения в данном случае совершаются при различных случайных положениях вращающегося образца. На рисунке ниже представлены примеры (первые результаты) измерений оптических параметров иголок ели.

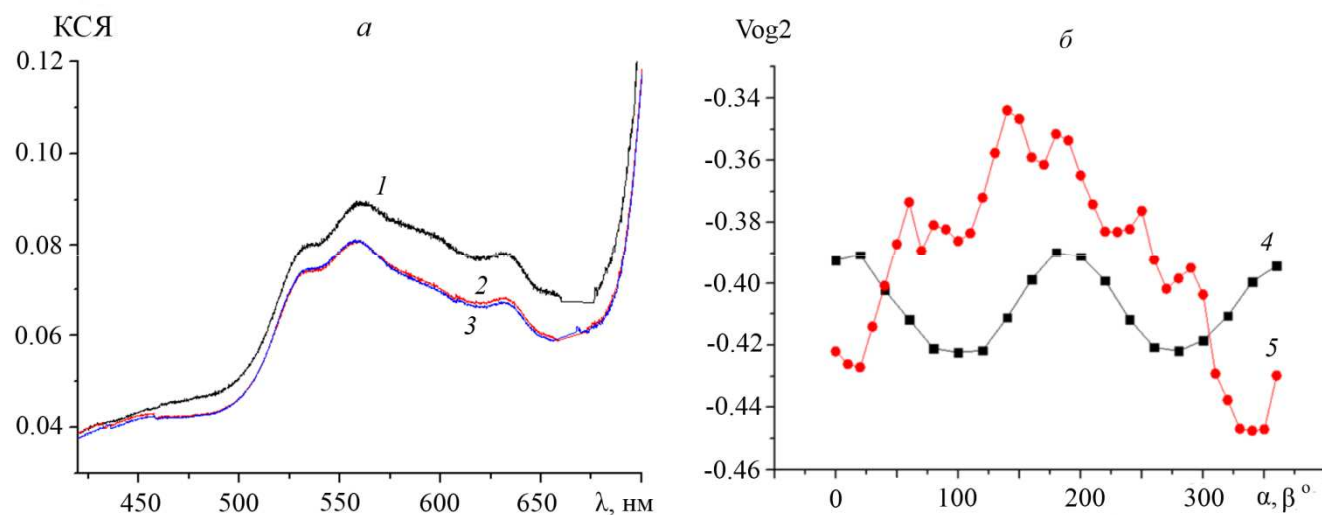


Рис. 3. – КСЯ(λ) хвои в зависимости от способа освещения образца (а): 1 – протяженным источником, 2 – квазипараллельным источником, 3 – обоими источниками; значения индекса $Vog2$; значения индекса $Vog2$ (б): 4 – в зависимости от ориентации поляроида α для фиксированного положения образца, 5 – для различных угловых положений образца β без поляроида;

Выводы



В данной работе представлены первые результаты измерений оптических параметров иголок ели, полученные при помощи гониофотометра CHERRY. Основные моменты применяемой методики измерения оптических параметров состоят в следующем:

1. Использование протяженного источника для уточнения коэффициента спектральной яркости иголок ели;
2. Подбор интенсивности источника для уменьшения влияния теплового воздействия на образец;
3. Вращение образца в процессе регистрации спектров отражения для усреднения эффектов поляризации отраженного излучения и положения образца;
4. Применение одного объектива для двух режимов работы спектрометра: видимый и ИК диапазоны;
5. Использование высокоточной моторизованной платформы для изменения положения образцов с целью исключения ошибок, связанных с регистрацией измененного сигнала;
6. Определение рабочих параметров спектрометра, на которых происходит наиболее качественная регистрация спектров отражения и их корректный пересчет в коэффициенты спектральной яркости.