

DOI <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.6.5>

УДК 53.08: 004.932

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЯРКОСТИ МАТЕРИАЛОВ И ПРИРОДНЫХ ФОНОВ

А. В. Овчинников

Тульский государственный университет,  
300012, г. Тула, пр. Ленина, 92

Статья поступила в редакцию 15 июня 2021 г.

**Аннотация.** Описана методика экспериментального исследования коэффициентов спектральной яркости в диапазоне длин волн 470...940 нм объектов, природных и антропогенных фонов с помощью многоспектральной камеры. Приведены примеры результатов измерений коэффициентов спектральной яркости.

**Ключевые слова:** спектральная селекция, многоспектральная съёмка, телевизионные системы, многоспектральная камер, спектральная яркость.

**Abstract.** The article describes a technique for experimental study of spectral brightness coefficients in the wavelength range of 470 ... 940 nm of objects, natural and anthropogenic backgrounds using a multispectral camera. Examples of the results of measurements of the spectral brightness coefficients are given.

**Keywords:** spectral selection, multispectral photography, television systems, multispectral cameras, spectral brightness.

### Введение

Решение задач спектрального мониторинга и распознавания требует наличия актуальных баз данных спектральных характеристик различных объектов, покрытий, природных и антропогенных фонов. При этом, большинством исследователей основное внимание уделяется формированию баз данных методами аэро- и космической съёмки [1, 2], а наземным измерениям уделяется значительно меньше внимания.

В этой связи, исследования автора в области разработки методики экспериментального исследования спектральных коэффициентов отражения для формирования базы данных спектров отражения покрытий, объектов, материалов, наземных фонов природного и антропогенного происхождения с помощью многоспектральной камеры [3], являются достаточно актуальными и могут быть использованы при решении прикладных задач.

## 1. Экспериментальная установка и общие требования к проведению исследований

Схема экспериментальной установки показана на рис. 1, а на рис. 2 приведены фотографии разработанной многоспектральной камеры [3], входящей в состав экспериментальной установки.

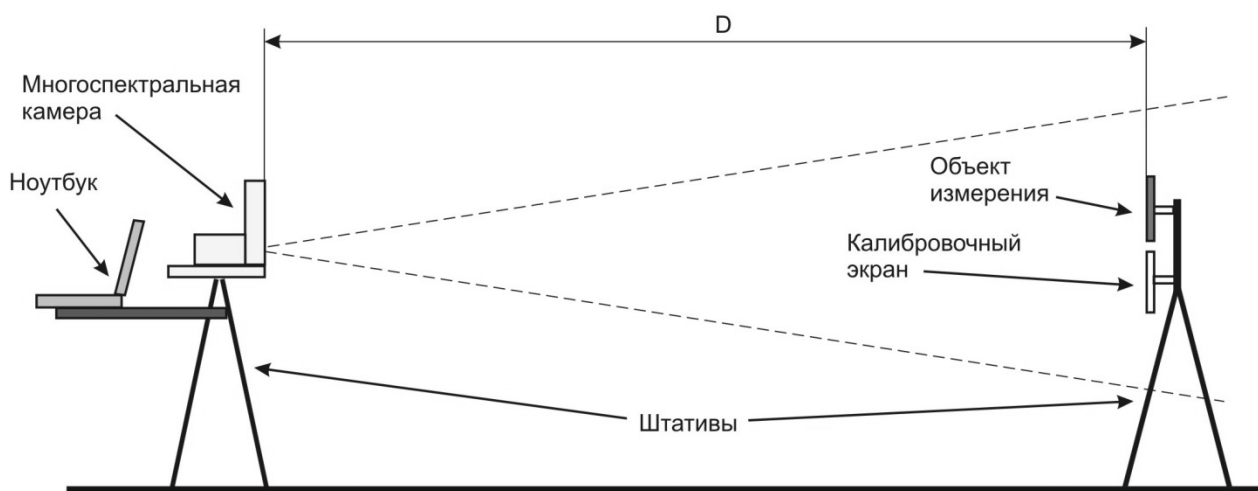


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для измерения спектральной яркости объектов и фонов.



Рис. 2. Многоспектральная камера из состава экспериментальной установки.

В таблице 1 приведены результаты оценки размеров изображения объекта на фотоприёмной матрице многоспектральной камеры в зависимости от используемого объектива и расстояния  $D$  (рис. 1) для случая, если физический размер объекта равен  $200 \times 300$  мм.

Таблица 1. Расчётный размер изображения (в пикс.) для объекта размером  $200 \times 300$  мм в зависимости от расстояния  $D$

	$D$ , м	1	2	5	10	20	50	100	150	200
Объектив 1, $f=8$ мм	а,	310	155	62	31	16	6	3	2	1,5
Объектив 2, $f=50$ мм	пикс.	-	965	387	193	97	39	19	13	10

Данные табл. 1 показывают, что наиболее универсальным решением является использование короткофокусного объектива ( $f=8$  мм), который позволяет получить различные размеры изображения на небольших расстояниях, что снижает трудоёмкость измерений.

При измерениях коэффициентов спектральной яркости образцов окрашенных поверхностей в поле зрения многоспектральной камеры необходимо наблюдать как объект, так и калибровочный экран. В этом случае, для упрощения последующего ручного выделения изображений интересующих объектов при обработке, целесообразно их располагать на расстоянии порядка 2...5 м от камеры.

Кроме того, при выполнении экспериментальных исследований следует учитывать несколько особенностей:

- Измерения спектральной яркости глянцевых или полированных поверхностей, например лакокрасочных покрытий автомобилей, требуют отсутствия на изображении зеркальных отражений местных предметов, неба, бликов от солнца. Это существенно усложняет выбор места расположения измерительной аппаратуры относительно объекта измерения.

- Если измерения будут выполняться на водном фоне, расположение аппаратуры должно обеспечивать отсутствие прямых отражений солнечного света от поверхности воды.

- При измерениях в лабораторных условиях (в помещении) или при недостаточном естественном освещении необходимо использовать осветитель с

максимально равномерной характеристикой в рабочем диапазоне многоспектральной камеры.

Исследование характеристик светодиодных источников показало наличие резкого падения яркости излучения на длинах волн более 700 нм, что делает их непригодными для освещения. Лампы накаливания имеют низкую яркость в коротковолновой части спектра. Наилучшие результаты по равномерности спектра в рабочем диапазоне показали осветители на галогенных лампах.

### 1.1. Методика измерения спектральной яркости покрытий

Рекомендуемое расположение объектов измерений и фотоприёмной аппаратуры (многоспектральной камеры) для случая измерения спектральной яркости покрытий показано на рис. 3, а основные размеры приведены в табл. 2.

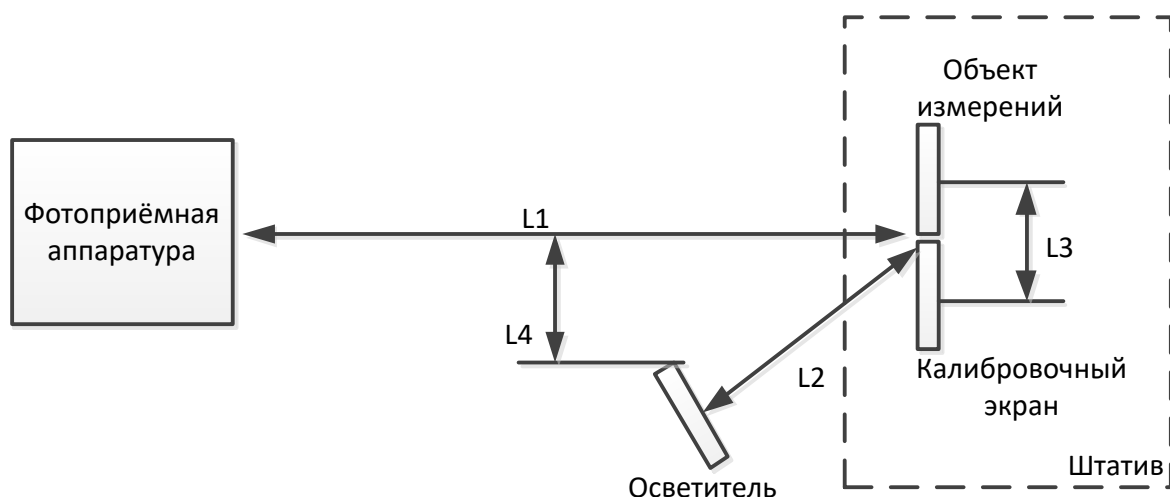


Рис. 3. Расположение объектов измерений и фотоприёмной аппаратуры при измерении спектральной яркости покрытий.

Табл. 2. Основные размеры схемы (рис. 3)

Размер	L1	L2	L3	L4
Значение, м	2,0	1,0	0,5	0,25

Угол между направлением оптической оси объектива многоспектральной камеры и нормальными к поверхности калибровочного экрана и измеряемого объекта не должен превышать 30 градусов.

## *1.2. Методика измерения спектральной яркости природных и антропогенных фонов и объектов на фоне*

На начальном этапе измерений спектральной яркости природных и антропогенных фонов, а также объектов на фоне, установлено, что описанная выше методика измерений должна учитывать следующие факторы:

- на местности трудно выбрать сочетание условий, обеспечивающее предполагаемые расстояния между экраном, объектом, фоном; при больших расстояниях мешают неровности рельефа, появляются посторонние объекты на фоне;

- при удалённом расположении калибровочного экрана появляются сложности с измерением яркости калибровочного экрана (снижение и увеличение разброса яркости), что приводит к повышению погрешности измерений;

- на относительно небольших расстояниях до фона (например, 10 м) разрешение матрицы позволяет проводить анализ объектов, как небольшого размера, так и получать усреднённую информацию по спектру (усреднением области заданного размера); измерения на большом расстоянии этой возможности лишены;

- не имеет особого смысла совместное измерение параметров фона и целей, поскольку в последующем выполняется раздельная обработка их изображений и контраст рассчитывается по измеренной спектральной яркости.

Следствием отмеченных факторов является измерение спектральных характеристик объектов и фонов только для одного расположения аппаратуры экспериментальной установки.

Рекомендуемое расположение фотоприёмной аппаратуры и штатива с образцом и калибровочным экраном должно соответствовать рис. 4. и табл. 3. При установке камеры необходимо обеспечить условие - в пределах поля зрения камеры фон должен занимать не менее  $2/3$  кадра по высоте; не допускается расположение объекта и калибровочной панели на фоне неба.

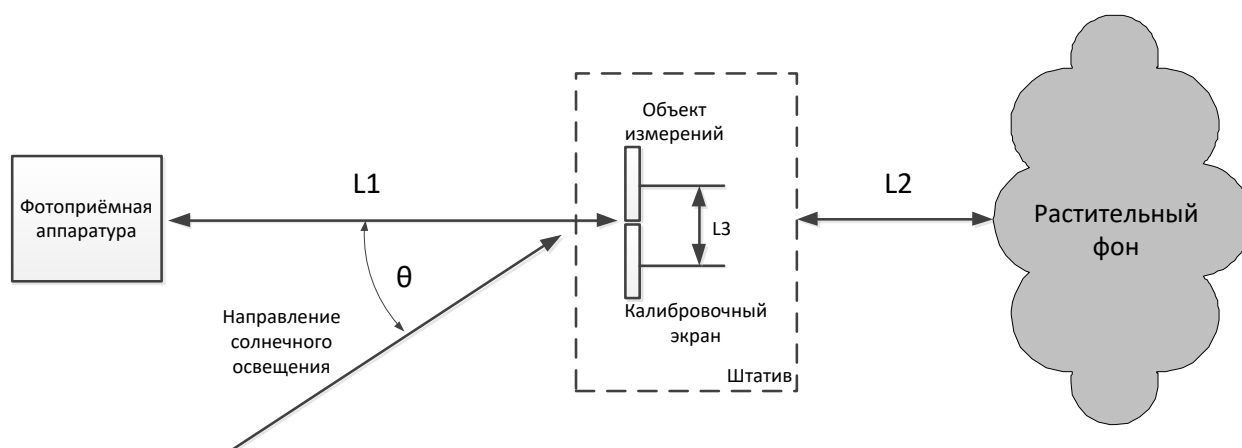


Рис. 4. Расположение фотоприёмной аппаратуры и штатива с образцом и калибровочным экраном при измерениях спектральной яркости объектов на природных и антропогенных фонах.

Табл. 3. Основные размеры схемы (рис. 4)

Размер	L1	L2	L3	L4
Значение, м	5,0	50	0,5	-

Дополнительно следует отметить, что измерения целесообразно выполнять в облачную погоду. При солнечной погоде угол падения солнечных лучей на объект и калибровочный экран должен составлять  $\theta=30^0\dots60^0$  градусов для предотвращения возникновения бликов.

## 2. Методика вычисления коэффициентов яркости

Коэффициент яркости поверхности  $r$  в данном направлении и при данных условиях освещения есть отношение яркости этой поверхности к яркости идеального рассеивателя, находящегося в тех же условиях освещения [4]:

$$r = B_2 / B_1, \quad (1)$$

где  $B_1$  — яркость идеального рассеивателя, а  $B_2$  — яркость изучаемой поверхности.

Под идеальным рассеивателем подразумевается ортотропная поверхность, полностью отражающая по закону Ламберта весь падающий на неё лучистый поток.

При проведении экспериментов в качестве идеального рассеивателя использовался калибровочный экран с известной спектральной яркостью

отражённого излучения, а многоспектральная камера формировала 12 цифровых спектральных изображений в диапазоне 470...940 нм включающих объект исследования и калибровочный экран.

Для снижения влияния шумовой составляющей яркости калибровочного экрана и объекта выполнялось усреднение по области:

$$B_1 = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M B_{ij}^1}{NM}, \quad B_2 = \frac{\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^L B_{ij}^2}{KL}, \quad (2)$$

где  $B_{ij}^1$  – яркость пикселя калибровочного экрана с координатами  $i,j$ ;  $N,M$  – размеры области анализа калибровочного экрана;  $B_{ij}^2$  – яркость пикселя объекта с координатами  $i,j$ ;  $K,L$  – размеры области анализа объекта.

Коэффициент спектральной яркости рассчитывался по соотношению (1).

Обеспечение линейности преобразования яркости излучения в электрический цифровой сигнал камерой в пределах её динамического диапазона обеспечивалось экспериментальным подбором времени накопления (выдержки) и съёмкой при различных значениях диафрагмы объектива.

Оценка контраста объекта на фоне для различных участков спектра выполнялась по соотношению

$$K = \frac{|B_{об} - B_{ф}|}{|B_{об} + B_{ф}|}, \quad (3)$$

где  $B_{об}$  - яркость объекта,  $B_{ф}$  - яркость фона.

### 3. Результаты экспериментальных исследований

Измерения характеристик покрытий проводились на местности при естественном освещении одновременно с измерениями характеристик фонов на протяжении 2020 года. Экспериментально измерялись коэффициенты спектральной яркости различных лакокрасочных покрытий, строительных материалов, а также растений и природных образований. По результатам измерений был сформирован Атлас спектров лакокрасочных покрытий, материалов и растительности. Примеры результатов измерений спектральной

яркости различных покрытий, материалов и фонов приведены в работе [5] и на рис. 5 - 8.

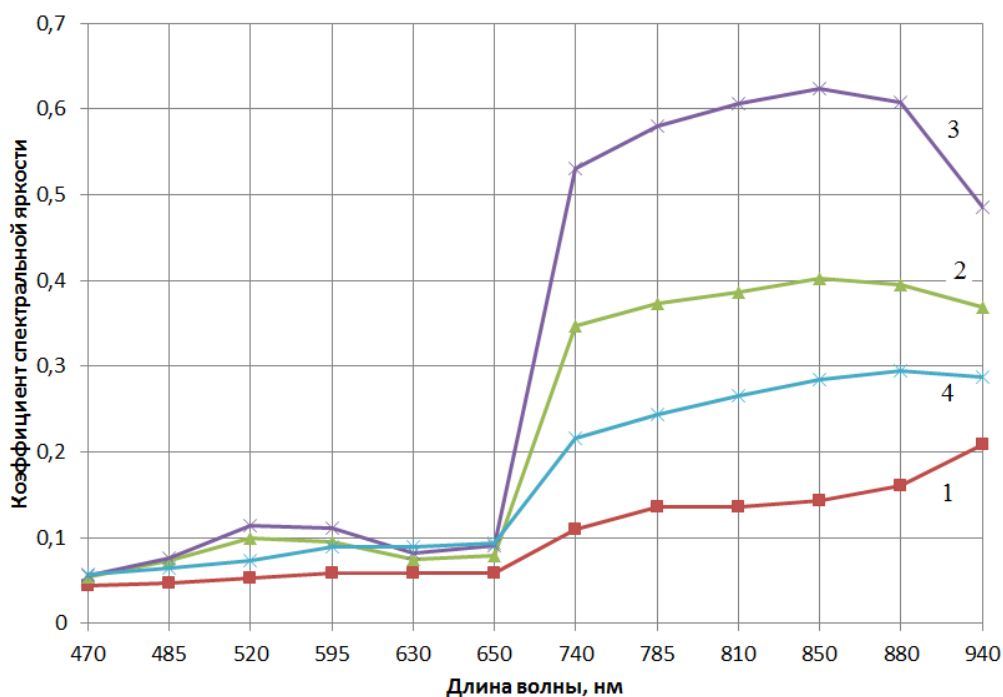


Рис. 5. Результаты измерения коэффициента спектральной яркости смешанного леса: 1 – 25.03.2020 г.; 2 – 28.05.2020 г.; 3 – 23.07.2020 г.; 4 – 30.09.2020 г.

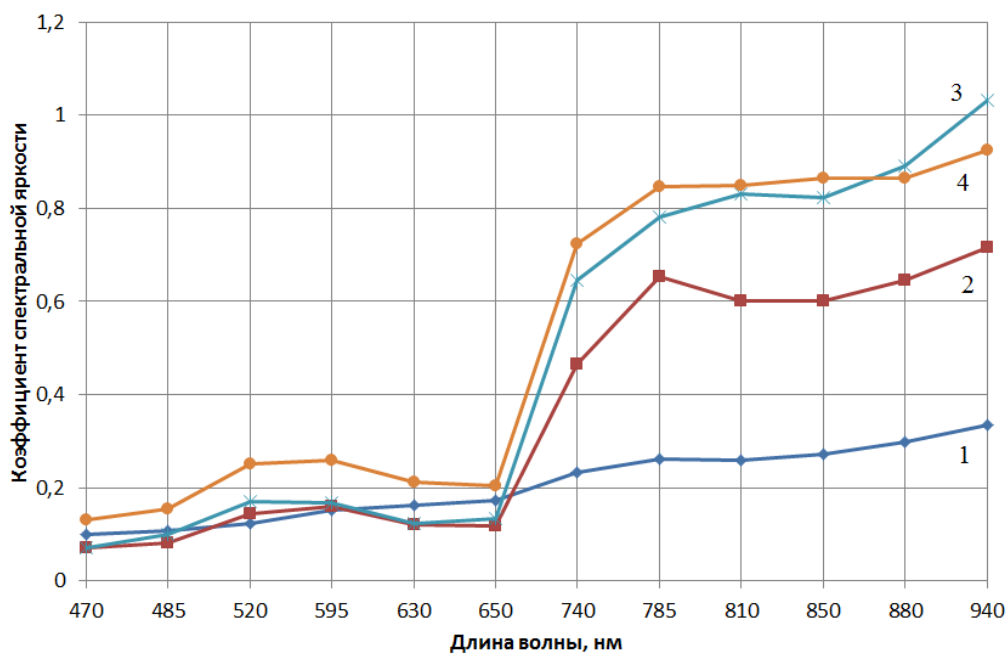


Рис. 6. Результаты измерения коэффициента спектральной яркости луга: 1 – 25.03.2020 г.; 2 – 13.05.2020 г.; 3 – 28.05.2020 г.; 4 – 23.07.2020 г.



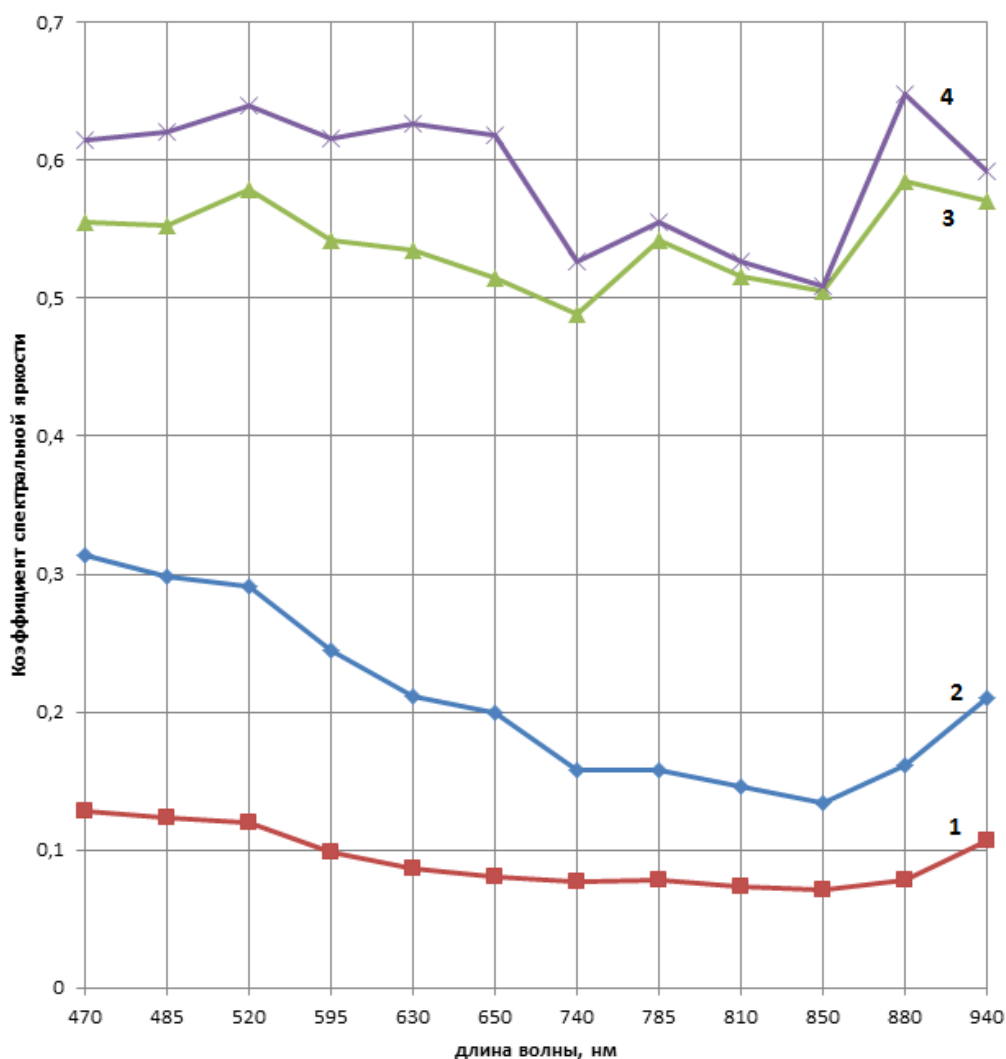


Рис. 7. Результаты измерения спектральной яркости водной поверхности: 1 – 25.03.2020 г., ясно, сильный ветер, на поверхности местами тонкий лёд; 2 – 13.05.2020 г., переменная облачность, сильный ветер; 3 – 28.05.2020 г., равномерная полупрозрачная облачность, слабый ветер; 4 - 28.05.2020 г., ясно, слабый ветер.

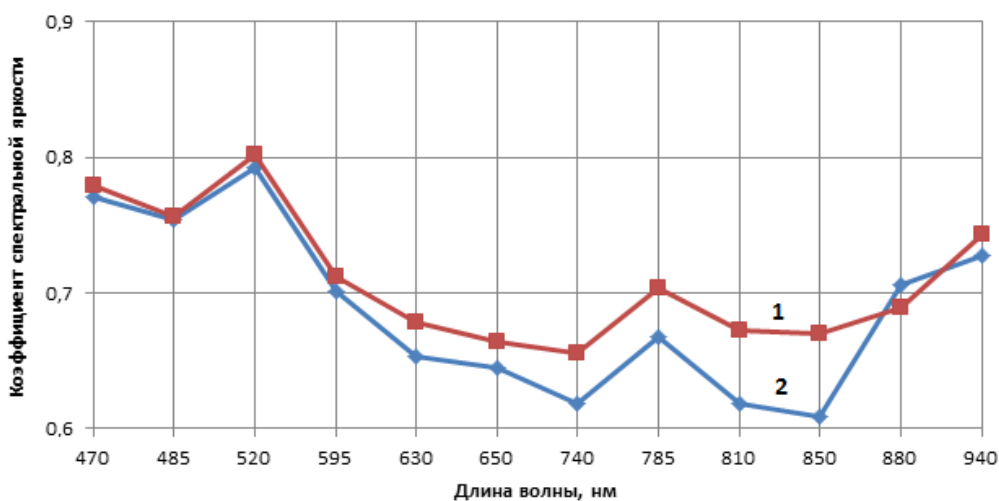


Рис. 8. Результаты измерения коэффициента спектральной яркости снежных полей (свежий снег, температура минус 10<sup>0</sup>С).

Полученные при экспериментальных исследованиях результаты для растительных и природных фонов качественно согласуются с результатами Е.Л. Кринова [4], что косвенно подтверждает корректность предложенной методики измерения.

### **Заключение**

Полученные результаты позволяют сформировать актуальную базу спектральных коэффициентов яркости покрытий, материалов, фонов и на основе её анализа выработать рекомендации по использованию спектральных признаков при выделении объектов на сложном фоне.

### **Литература**

1. Шовенгердт Р.А. *Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений*. Москва, Техносфера. 2010. 560 с.
2. Молчанов А.С. Состояние, развитие и применение гиперспектральных технологий в аэрокомплексах и системах воздушной разведки. *Сборник тезисов докладов научно-технической конференции «Гиперспектральные приборы и технологии»*. Красногорск, 17-18 января 2013 г. С.21-23.
3. Овчинников А.В. Многоспектральная камера с последовательным формированием изображений. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2021. №5. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.5.6> (дата обращения: 10.06.2021 г.)
4. Кринов Е.Л. *Спектральная отражательная способность природных образований*. Москва, Ленинград. Изд-во АН СССР. 1947. 272 с.
5. Погорельский С.Л., Макарецкий Е.А., Понятский В.М., Овчинников А.В., Гублин А.С., Шилин А.А. Результаты экспериментального исследования спектров материалов и сложных фонов. *Известия Тульского университета. Технические науки*. 2020. Вып.11. С.85-91.

### **Для цитирования:**

Овчинников А.В. Методика экспериментального исследования коэффициентов спектральной яркости материалов и природных фонов. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2021. №6. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.6.5>