

УДК 621.315.4/61

СПЕКТРАЛЬНО-ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ГИБКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОЧВОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Т.В. БОРБОТЬКО, ХАЙ НГУЕН ВАН

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 23 февраля 2007

Описан метод формирования композиционных материалов на основе торфа. Приводятся результаты исследований спектральных и поляризационных характеристик синтезированных материалов. Показано, что применение органических включений в синтезируемом материале позволяет получить спектрально-поляризационные характеристики, схожие с характеристиками грунтов и растительности, а также позволяет создавать гибкие материалы для поглощения излучения видимого и ближнего инфракрасного диапазонов.

Ключевые слова: композиционные материалы, спектральный коэффициент яркости, степень поляризации.

Введение

В связи с бурным развитием средств и систем оптического дистанционного зондирования земной поверхности, размещенных на воздушных и космических носителях актуальной проблемой является снижение заметности объектов различного назначения. Основными направлениями ее решения являются применение различных по составу аэрозолей и материалов, имеющих низкие значения спектрального коэффициента яркости [1].

Одним из перспективных направлений создания материалов с заданными свойствами является формирование композиционных структур с размерами элементов порядка нескольких нанометров, что позволяет изменять макроскопические характеристики материала не только путем изменения концентрации вводимых компонентов, а также за счет вариации размеров частиц [2].

Такие материалы для решения вышеуказанной задачи должны иметь спектрально-поляризационные характеристики, аналогичные фону, на которых размещаются объекты. Это может быть достигнуто использованием различных органических включений, а также водосодержащих наполнителей [3, 4], позволяющих имитировать окружающую среду.

Целью настоящей работы являлось исследование спектрально-поляризационных характеристик композиционного материала, содержащего органические включения, в частности, такие как торф.

Экспериментальная часть

Для исследования был изготовлен образец материала, состоящий из торфа, закрепленного в связующем веществе, в качестве которого использовался силикон (рис. 1). Отдельные компоненты синтезируемого материала тщательно смешивались в равных пропорциях до образования вязкой массы. Равномерность распределения в связующем

веществе торфа контролировалась визуально. Полученная масса формовалась в листы и подвергалась сушке при комнатной температуре.

Для исследования спектральных характеристик созданного образца в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах длин волн (440–1040 нм) использовались гониометрическая установка и спектрополяриметр Гемма МС-09 с поляризационной насадкой, позволяющий регистрировать спектральную плотность энергетической яркости (СПЭЯ) образцов при различных положениях оси поляроида [5].

В качестве источника света использовалась галогеновая лампа КГМ-250, имеющая максимум СПЭЯ на длине волны порядка 1,0 мкм (световая температура ≈ 3000 К). Угол падения коллимированного пучка света γ на исследуемый объект составлял 45° . Использовались три положения оси поляроида относительно вертикальной плоскости: $0, 45$ и 90° . Углы наблюдения β были выбраны фиксированные: $0, 20, 45^\circ$. Углы наблюдения и падения отсчитывались от нормали к плоскости исследуемого объекта.

Питание осветительной лампы установки стабилизировалось и контролировалось, поэтому яркость источника освещения не изменялась в процессе измерений. Спектрополяриметр регистрировал отраженную от образцов СПЭЯ в диапазоне длин волн 440–1040 нм. Полученные данные использовались для вычисления спектрального коэффициента яркости (СКЯ).

Для обработки спектров отражения и вычисления СКЯ исследуемых объектов были получены спектры отражения для материала с равномерной индикатрисой рассеивания при условиях измерений, аналогичных условиям для исследуемых образцов.

Спектральный коэффициент яркости вычислялся как отношения СПЭЯ исследуемого материала к СПЭЯ материала с равномерной индикатрисой рассеивания.

Для описания состояния отраженного света были рассчитаны параметры Стокса (Stokes) для чего спектральные характеристики одного и того же исследуемого материала регистрировались при трех различных ориентациях поляризационного фильтра ($0, 45$ и 90°) по отношению к вертикали, таким образом, были получены СПЭЯ для соответствующих ориентаций поляроида (I_0, I_{45}, I_{90}).

Параметры Стокса $\{L, Q, U, V=0\}$ [6] вычислялись с использованием следующих математических выражений:

$$L = I_0 + I_{90},$$

$$Q = I_{90} - I_0,$$

$$U = I_0 + I_{90} - 2I_{45}.$$

На основе параметров Стокса была рассчитана степень поляризации P для исследуемых образцов материалов:

$$P = \frac{\sqrt{Q^2 + U^2}}{L}.$$



Рис. 1. Внешний вид синтезированного материала

Результаты и обсуждение

Спектральная характеристика синтезированного материала имеет резонансный характер (рис. 2–4). В видимом диапазоне длин волн наблюдается возрастание значения СКЯ

от 0,2–0,3 до 0,35–0,4 с выходом на плато в ближнем инфракрасном диапазоне длин волн, причем значение СКЯ достигает 0,6. Форма спектральной характеристики синтезированного материала схожа со спектральной характеристикой растительности (рис. 5), отличительной особенностью полученной характеристики является отсутствие биотического минимума в полосе поглощения хлорофилла (635–680 нм) и максимума в диапазоне длин волн 530–575 нм, обусловленного взаимодействием света с каротиноидами. Схожесть в формах характеристик объясняется тем, что торф состоит из отмерших растений, а отсутствие вышеуказанных закономерностей на характеристике объясняется отсутствием вышеназванных пигментов вследствие их разрушения. Спектральная характеристика имеет ярко выраженную полосу поглощения с центральной длиной волны на 770 нм, которая обусловлена наличием в синтезированном материале влаги, распределенной в его объеме.

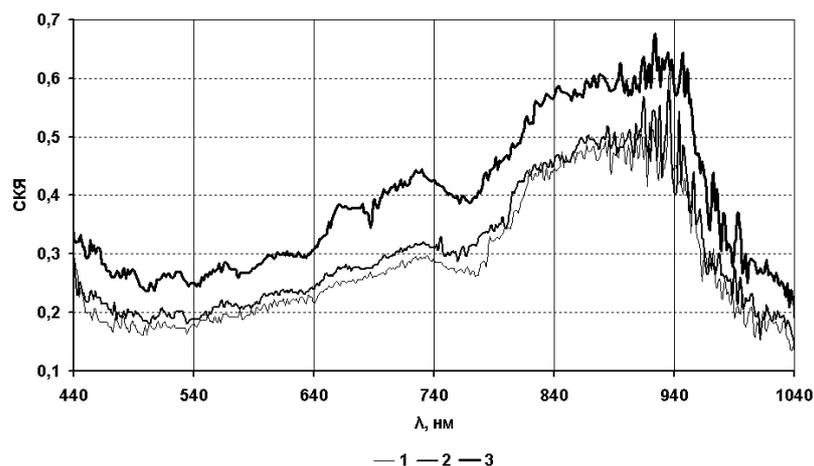


Рис. 2. Спектральные характеристики синтезированного материала при угле поляризации отраженной волны 0° и углах визирования: 1 — $\beta=0^\circ$, 2 — $\beta=20^\circ$, 3 — $\beta=45^\circ$

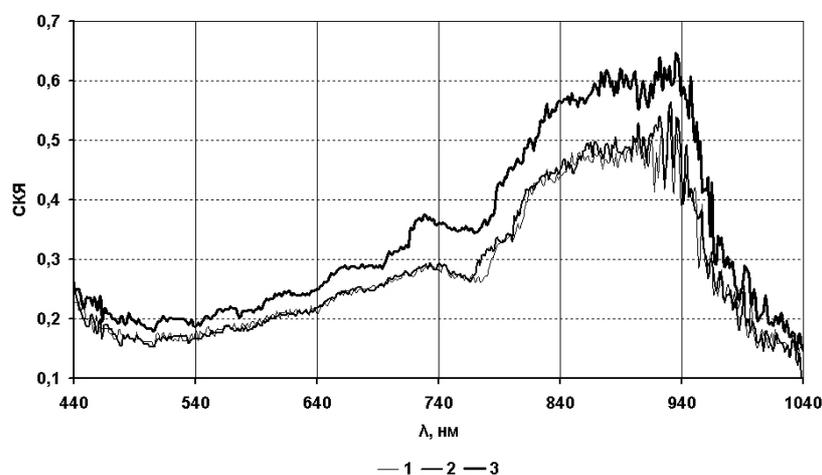


Рис. 3. Спектральные характеристики синтезированного материала при угле поляризации отраженной волны 45° и углах визирования: 1 — $\beta=0^\circ$, 2 — $\beta=20^\circ$, 3 — $\beta=45^\circ$

Значения СКЯ синтезированного материала в исследуемом диапазоне длин волн зависят от угла наблюдения. Установлено, что при угле наблюдения 45° уровень отраженной волны от поверхности исследуемого образца увеличивается и составляет порядка 0,3–0,4 в видимом диапазоне и 0,4–0,6 — в ближнем инфракрасном диапазоне длин волн. Указанные значения СКЯ сильно зависят от угла поляризации отраженной волны и максимальны при значении данного параметра, равного 0° , причем степень поляризации для значений вышеуказанных углов наблюдения и поляризации изменяется в пределах 0,1–0,4. Различие в значениях СКЯ при различных ориентациях поляроида объясняется тем, что отраженное излучение во всем исследуемом диапазоне длин волн является частично поляризованным

с углом преимущественной поляризации порядка 0° . Таким образом, в отраженной волне преобладает вектор E , ориентированный под углом 0° , так как значение СКЯ в диапазоне длин волн 440–1040 нм имеет максимальное значение при угле поляризации 0° , в результате в отраженном излучении преобладает зеркальная составляющая. В видимом диапазоне длин волн (440–750 нм) при угле поляризации 90° отраженного света значения СКЯ не зависят от угла визирования.

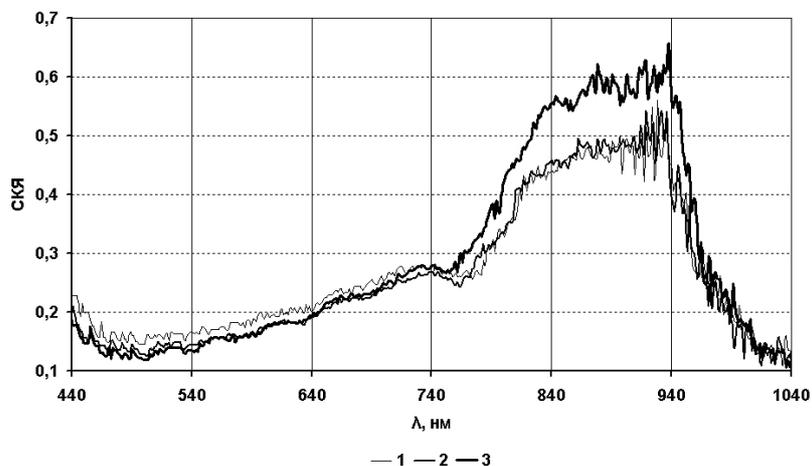


Рис. 4. Спектральные характеристики синтезированного материала при угле поляризации отраженной волны 90° и углах визирования: 1 — $\beta=0^\circ$, 2 — $\beta=20^\circ$, 3 — $\beta=45^\circ$

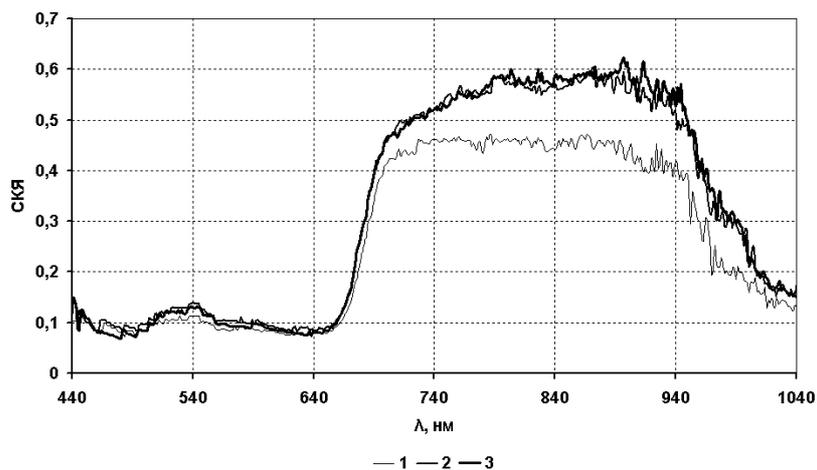


Рис. 5. Спектральные характеристики одиночного живого листа комнатного растения герань (geranium) при угле поляризации отраженной волны 90° и углах визирования: 1 — $\beta=0^\circ$, 2 — $\beta=20^\circ$, 3 — $\beta=45^\circ$

Уменьшение фазового угла $(\gamma+\beta)$ с 90° до 45° приводит к снижению степени поляризации отраженной волны до значения $0,05-0,1$ (рис. 6), что характеризуется многократным отражением падающей волны от поверхности материала и диффузным ее рассеянием.

В ближнем инфракрасном диапазоне длин волн отраженная волна является неполяризованной, что схоже с аналогичной характеристикой для растительности [7]. Синтезированный материал многократно переотражает падающее излучение и диффузно его рассеивает за счет соизмеримости длины падающей волны с размерами неоднородностей поверхности материала. Данная закономерность характерна для диапазона длин волн 840–980 нм, а с увеличением длины волны наблюдается монотонный рост степени поляризации. Степень поляризации изготовленного образца в видимом диапазоне длин волн в два раза меньше степени поляризации растительности (рис. 7) вследствие отсутствия пигментов (хлорофилл, каротиноиды), интенсивно влияющих на поляризацию отраженной волны.

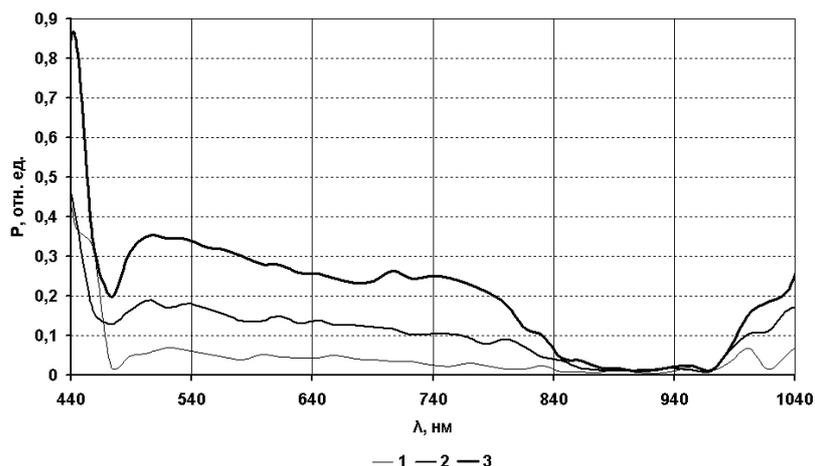


Рис. 6. Поляризационная характеристика синтезированного материала при углах визирования: 1 — $\beta=0^\circ$, 2 — $\beta=20^\circ$, 3 — $\beta=45^\circ$

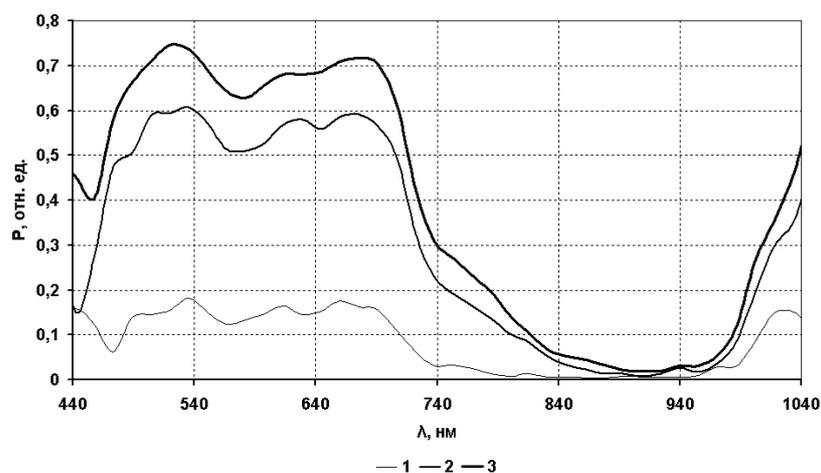


Рис. 7. Поляризационная характеристика одиночного живого листа комнатного растения герань (geranium) при углах визирования: 1 — $\beta=0^\circ$, 2 — $\beta=20^\circ$, 3 — $\beta=45^\circ$

Заключение

Исследованы свойства материалов, выполненных на основе торфа, равномерно распределенного в силиконе. Показано, что значения СКЯ для данного материала имеют зависимость от угла визирования и максимальны при значении данного параметра, равного 45° . Установлено, что синтезированный материал в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах длин волн частично поляризует отраженное излучение, причем угол преимущественной поляризации равен 0° при степени поляризации 0,1–0,4. Установлено, что изготовленный материал не поляризует отраженную волну в диапазоне длин волн 840–980 нм при изменении фазового угла от 45° до 90° и диффузно рассеивает падающее излучение. Показано, что синтезированный материал не является чисто диффузным, ламбертовским отражателем.

Полученные материалы перспективны для использования в конструкциях покрытий со спектрально-поляризационными характеристиками в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах длин волн, аналогичными почвам и грунтам, что позволит значительно усложнить задачу обнаружения и классификации объектов на фоне данных почв.

SPECTROSCOPIC-POLARIZATION PROPERTIES FLEXIBLE COMPOSITION MATERIALS CONTAINING GROUND

T.V. BORBOTKO, HAI N. VAN

Abstract

The method of shaping of composites is described on the basis of peat. Results of examinations of spectral and polarization performances of synthesized materials are given. It is shown, that application of organic inserts in a synthesized material allows to receive spectroscopic — polarization performances similar to performances of soils and greens and as allows to establish flexible materials for uptake of radiation visual and near infrared range.

Литература

1. *Лыньков Л.М., Борботько Т.В., Хижняк А.В.* // Наука и военная безопасность. 2006. № 4. С. 86–90.
2. *Петрунин В.Ф.* // XVI Менделеевский съезд по общей и прикладной химии: Тез. докл. М., 1998. С. 435–436.
3. *Лыньков Л.М., Борботько Т.В., Колбун Н.В., Хижняк А.В., Чембрович В.Е.* // Вестн. Военной академии Республики Беларусь. 2004. № 3. С.75–77.
4. *Лыньков Л.М., Беляев Б.И., Беляев Ю.В., Борботько Т.В., Хижняк А.В.* // Сб. науч. статей Военной академии Республики Беларусь. 2005. № 8. С. 74–76.
5. *Беляев Б.И., Беляев Ю.В., Чумаков А.В. и др.* // Журн. прикл. спектр. 2000. Т 67, № 4. С. 524–529.
6. *Беляев Ю.В., Катковский Л.В., Куркина Т.М., Шупляк В.И.* // Журн. прикл. спектр. 2001. Т 68, № 2. С. 258–623.
7. *Kumar R., Silva I.* // Applied Optics. 1973. Vol 12. P. 2950–2954.