

**ПРИМЕНЕНИЕ АПРОБИРОВАННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДИК ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ РАСТЕНИЙ**
THE USE OF SOLID-STATE PHYSICAL PROVEN EXPERIMENTAL TECHNIQUES FOR
THE STUDY OF PLANTS

Глинушкин А.П.*, доктор сельскохозяйственных наук

Glinushkin A.P., Doctor of Agricultural Sciences

Беспалова Н.И., Умнов А.М., Сениговец М.Е., научные сотрудники

Bespalova N.I., Umnov A.M., Senigovech M.E., Researchers

ФГБНУ ВНИИ фитопатологии, Московская область, Россия

All Russian Research Institute of Phytopathology, Moscow Region, Russia

Рудь Ю.В., Шпунт В.Х., доктора физико-математических наук

Rud' Y.V., Shpunt V.H., Doctors of Physical and Mathematical Sciences

ФГБНУ ФТИ имени А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

The Ioffe Institute, St Petersburg, Russia

Рудь В.Ю., доктор физико-математических наук

Rud' V.Y., Doctor of Physical and Mathematical Sciences

Кудряшова И.С., Можайко А.А., студенты

Kudryashova I.S., Mojaiko A.A., students

ФГАОУ ВО СПбПУ, Санкт-Петербург, Россия

Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, St Petersburg, Russia

*E-mail: glinale@gmail.com

АННОТАЦИЯ

В статье проводится обоснование применения хорошо зарекомендовавших в физике твердого тела методик исследования для изучения новых объектов – растений. Исследования помогут установить закономерности резистентности и воспроизводимости растений, а также в перспективе повысить эффективность технологий сельского хозяйства.

ABSTRACT

In article justification of application of the research techniques which have well recommended in physics of a solid body for studying of new objects – plants is carried out. Researches will help to determine consistent patterns of resistance and reproducibility of plants, and also in the long term to increase efficiency of agricultural technologies.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Зеленый лист, фитопатология, спектроскопия, фотолюминесценция, оптическое поглощение, оптическое пропускание, спектральный контур, энергетический спектр.

KEY WORDS

Green leaf, phytopathology, spectroscopy, photoluminescence, optical absorption, optical transmission, spectral contour, power range.

Бурное развитие биологических и сельскохозяйственных наук, вызванное необходимостью кормить увеличивающееся население планеты диктует важность углубленного изучения устройства и функционирования живых систем. Знания этих вопросов позволяет улучшить ситуацию с селекцией растений, развитием устойчивого сельского хозяйства, повышения комфортности жизни человечества. В этой связи возрастает необходимость использования в исследованиях хорошо зарекомендовавших себя в других научных вопросах методы и экспериментальные

методики. В последнее время наблюдается расширение применения методов исследования различных характеристик оптических свойств растений.

Исследования оптических свойств листьев растений в видимой части спектра связываются с состоянием пигментной системы и структуры листьев [1,2,3,4,5]. Такие исследования проводятся традиционными экспериментальными схемами и в основном направлены на изучение водного статуса растений, с использованием, в частности, измерения спектральных зависимостей отражения на нескольких ключевых длинах волн. Наиболее известными «полосами» воды, являются 1400 и 1900 нм. Отражение на этих длинах волн соответствует содержанию воды в тканях растений [4,5]. Следует так же отметить что подобные спектрометры весьма дороги.

К этому времени уже известно, что лист высшего растения представляет собой сложную оптическую систему, обладающую способностью эффективно и, по-видимому, оптимально использовать солнечную энергию [6–8]. Растения вынуждены приспосабливаться к различным и быстро меняющимся условиям среды, и в том числе к солнечной радиации. Было установлено. Что при высокой освещенности некоторые растения способны изменять угол наклона листьев, снижать количество света, достигающего хлоренхимы, накапливать определенные фотозащитные вещества. Изучение оптических свойств листьев и поглощения ими света имеет большое значение для понимания общих принципов усвоения солнечной энергии, механизмов фотосинтеза и адаптационных процессов в растениях. Необходимо также отметить, что изучение этих механизмов очень важно при интерпретации данных, полученных с помощью, в частности, дистанционного оптического зондирования. Известно, что в растворах как хлорофиллы, так и каротиноиды обладают интенсивными, узкими и достаточно далеко отстоящими друг от друга полосами поглощения света. Это позволяет эффективно передавать энергию от светосборщиков на реакционные центры [6].

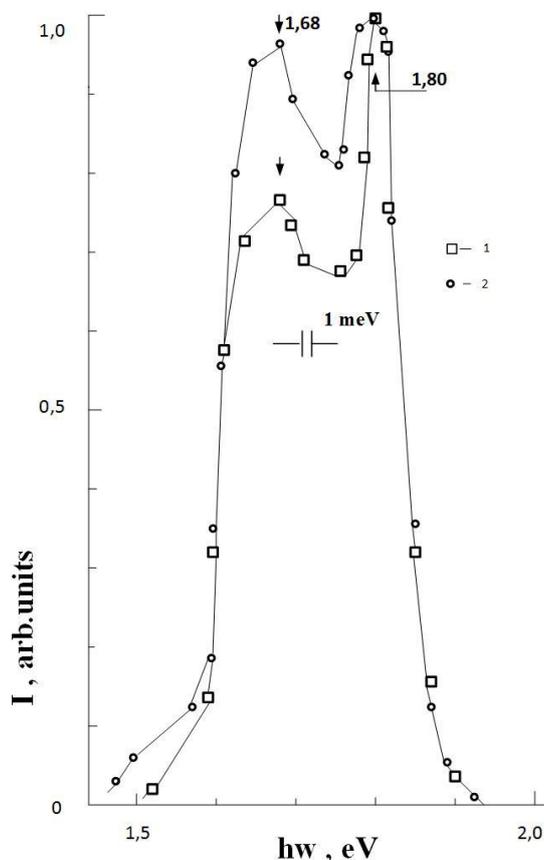


Рисунок 1 - Спектральные зависимости фотолюминесценции листьев *Calendula officinalis* L. при $T=300$ K (hw_{max} , eV : для кривой 1- 2,705, для кривой 2- 2,410).

Исследование отражения света листьями, как показывают различные источники, определяется главным образом диффузным отражением. Значительные успехи в понимании оптики листа были достигнуты в последние годы благодаря применению оптоволоконных технологий и созданию микросветоводов (с диаметром менее 5 мк), которые можно внедрять в ткань и изучать световые режимы непосредственно в толще листьев. Это позволяет расширить знания в отношении взаимодействия света различного спектрального состава с зеленым листом. Таким образом, несмотря на большую сложность, к настоящему времени уже имеются достаточно успешные попытки физического описания основных процессов, происходящих при взаимодействии света с листом и направленных на создание обобщенной оптической модели листа. При этом широко известны также методики, когда светом различного спектрального состава, либо СВЧ сигналами обрабатывают семена с целью повышения воспроизводимости растений.

При всем при этом практически неизвестны эксперименты, в которых зеленые растительные объекты исследовались бы как обычные твердотельные полупроводниковые образцы. При этом анализ результатов можно проводить исходя из установленных для твердотельных объектов представлений и получить новую информацию об растительных объектах. Именно поэтому применение хорошо развитой в применении к физике твердого тела методики исследования фотолюминесценции [9] для изучения живых зеленых растений видится нам целиком инновационным и перспективно востребованным [10, 11, 12, 13].

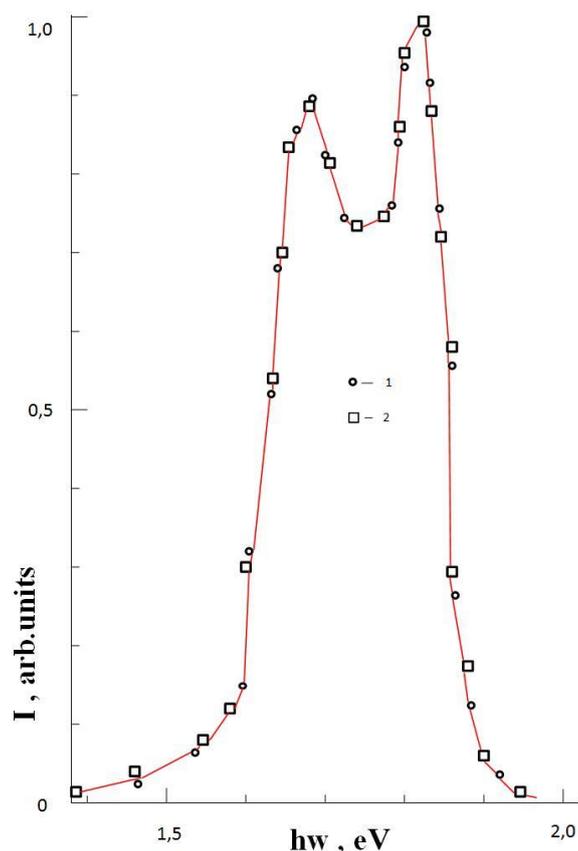


Рисунок 2 - Спектральные зависимости фотолюминесценции листьев *Calendula officinalis* L. в зависимости от интенсивности возбуждения при $T=300$ K (L/L_0 : для кривой 1- 0,5, для кривой 2- 0,07 при $hw_{exc.} = 2,705$ eV)

Исследование фотолюминесценции было проведено нами на зеленых листьях *Allium Sativum* L., а также зеленых листьях и лепестках *Calendula officinalis* L. Источником фотовозбуждения в эксперименте было излучение аргонового лазера ILA-

120-1 Carl Zeiss с энергиями возбуждения $hw_{\text{exc}} = 2,1; 2,50; 2,54; 2,6; 2,71$ эВ. Для каждой из вышеуказанных энергий плотность мощности составляла 50-100 мВт/см². Излучение фотолюминесценции далее поступало на монохроматор МДР-3 с решеткой 600 штрихов /мм и детектировалось фотоэлектронным умножителем. Спектральное разрешение экспериментальной установки было не хуже 1 мэВ. Все исследования были проведены при температуре $T=300$ К.

Было обнаружено, что зеленые листья при их возбуждении излучением с энергиями возбуждения указанными выше, показывают яркую фотолюминесценцию красного цвета. Спектры фотолюминесценции для зеленых листьев во всех случаях представляют собой две близкорасположенные полосы. Важно отметить, что энергии обеих полос для различных типов растений практически не отличались друг от друга (рис. 1).

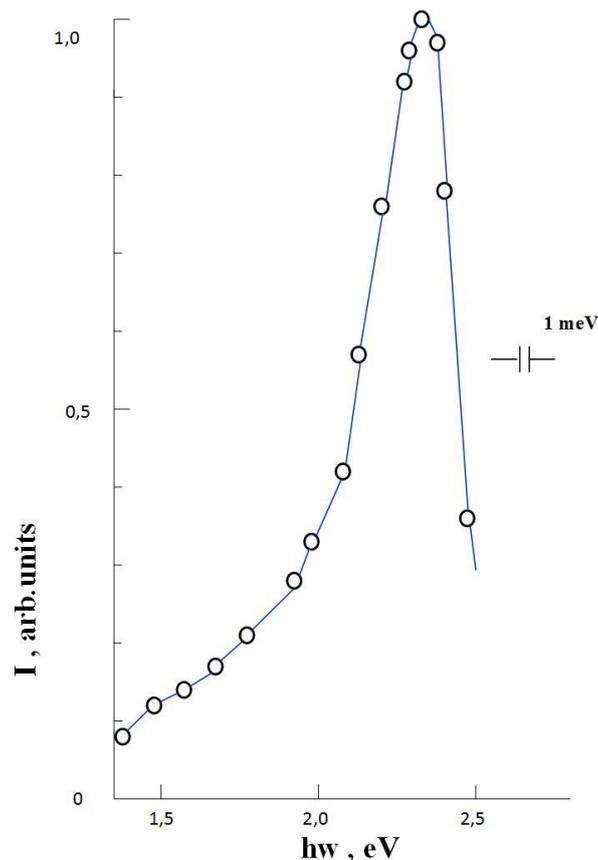


Рисунок 3 - Спектральная зависимость фотолюминесценции лепестка цветка *Calendula officinalis* L. при $T=300$ К и $hw_{\text{exc}} = 2,705$ eV

Для анализа фотолюминесценции в физике твердого тела особенно важны соотношение пиков фотолюминесценции и значения полуширин на полувысоте также были близкими для всех типов растений. При изменении плотности потока возбуждающего излучения наблюдался линейный закон в зависимости интенсивности фотолюминесценции от плотности потока. При этом сам спектральный контур люминесценции, а так же энергетические положения пиков и отношения их величин оставались неизменными (рис. 2). Указанные закономерности в физике полупроводников характерны как для излучательных переходов между свободными зонами, так и для переходов с уровней в запрещенной зоне.

Анализ результатов исследования для фрагментов цветка показывает, что эффективность падает на 2-3 порядка по сравнению с зеленым растением при этом максимум заметно смещается в коротковолновую область (рис. 3).

Обнаруженные особенности фотолюминесценции могут быть интересны для биологов, медиков [10], и сельскохозяйственных работников, расширить аппаратный набор экспериментальных методик контроля качества воспроизводимости растений на любом этапе его развития.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Брандт А.В., Тагеева С.В. Оптические параметры растительных организмов. – М.: Наука, 1967. – 301 с.
2. Клешнин А.Ф. Растение и свет. – М.: Изд. АН СССР, 1954. — 456 с.
3. Лискер И.С., Радченко С.С. Лазерно-оптические и гидромеханические методы диагностики стрессов в растениях в онтогенезе // Полевые эксперименты – для устойчивого землепользования. Труды 3-го Международного коллоквиума. – Т.1. – СПб., 1999. – С.51-52.
4. Dallon, D. Measurement of water stress: Comparison of reflectance at 970 and 1450 nm // Utah State University, Crop Phys. Lab. 2005. – P. 1-5.
5. Penuelas J., Filella, C. Bell, L., Serrano, and R. Save. The reflectance at the 950-970 nm region as an indicator of plant water status. *Int. J. Remote Sens.* 1993. V. 14: 1887-1905.
6. Хит О. Фотосинтез: (Физиол. аспекты). М.: Мир, 1972. 315 с.
7. Лархер В. Экология растений. М.: Мир, 1978. 186 с.
8. Vogelmann T.C., Bjorn L.O. Plants as Light Traps // *Physiol. plant.* 1986. Vol. 68. pp. 704–708.
9. Рудь В.Ю. Фотоплеохроизм алмазоподобных полупроводников и поляриметрические структуры на их основе, диссертация на соискание степени доктора физико-математических наук Ульяновск, УлГУ, 2005 374 с.
10. Самойлов В.О. Медицинская биофизика. СПб. 2004. 479 с.
11. Элементы инновации в производстве земляники / Пряхина Ю.Ю., Картабаева Б.Б., Сидорова О.П., Глинушкин А.П. / *Russian Agricultural Science Review.* 2015. Т 6. №6-2. С. 29-33.
12. Влияние норм расхода препарата на развитие болезней и реализацию продуктивного потенциала тыквы /Суров Н.В., Биктеева Р.Ш., Рагулин В.С., Глинушкин А.П., Дускаев Г.К./ *Биотика.* 2015. Т. 3. № 2. С. 15-23.
13. Возможности реализации потенциальной продуктивности растений / Глинушкин А.П. / «Молодые ученые в решении актуальных проблем науки»: материалы V Международной научно-практической конференции. Владикавказ, 2014. С. 222-225.
14. Использование импульсного низкочастотного электрического поля для предпосадочной обработки клубней / Стацюк Н.В., Такур К., Рогожин А.Н., Кузнецова М.А. // *Достижения науки и техники АПК.* 2015. Т. 29. № 8. С. 43-49.
15. Effect of the pre-planting treatment with low-frequency pulse electric field on the germination rate of true potato seeds (*Solanum Tuberosum L.*) / Statsyuk N.V., Thakur K., Smetanina T.I., Kuznetsova M.A. // *Vestnik OrelGAU.* 2015. 3(54). pp. 53-58.
16. Совершенствование способов подготовки микрорастений малины к адаптации / Акимова С.В., Викулина А.Н., Буянов И.Н., Глинушкин А.П. // *Плодоводство и ягодоводство России.* 2014. Т. XXXIX. С. 16-19.
17. Effects of far red light on the induction changes of prompt and delayed fluorescence and the redox state of p700 in *scenedesmus quadricauda* / Lenbaum V.V., Bulychev A.A., Matorin D.N. // *Russian Journal of Plant Physiology.* 2015. Т. 62. № 2. С. 210-218.
18. Технология предпосадочной обработки модулированным импульсным электрическим полем как способ повышения продуктивного потенциала картофеля / Стацюк Н.В., Кузнецова М.А., Рогожин А.Н., Филиппов А.В. // *Биотика.* 2015. Т. 4. № 3. С. 10-12.