

07;12  
©1994

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗЕЛЕННЫХ РАСТЕНИЙ (IN VIVO)

*В.Х.Шпунт, В.Ю.Рудь, Ю.В.Рудь*

Представления об электрических и оптических свойствах зеленых растений и микроскопическом механизме, ответственном за закономерности поведения этих биологических объектов при облучении светом и воздействии электрического поля, могут быть существенно расширены при наличии таких важных характеристик, как оптическое пропускание и электрическое сопротивление. С этой целью в развитии темы [1-3] в данной работе освещаются результаты исследований по спектрам оптического пропускания и рекомбинационного излучения, а также температурной зависимости электрического сопротивления зеленых листьев различных растений.

1. Исследование электрического сопротивления проводилось в планарной конструкции образца. В качестве электродов использовались прижимные пластины из меди, что обеспечивало в исследованном интервале температур и напряжений выполнение закона Ома. Измеряемый объект помещался на кварцевую пластину таким образом, чтобы максимально предотвратить механическое повреждение образца. При выборе температурного диапазона исследования мы руководствовались следующими известными положениями: метаболические реакции в организме — это, в большинстве случаев, ферментативные реакции, при которых определяющим фактором является наличие ферментов, без которых всякая жизнь прекращается. Однако ферменты теряют активность при нагревании и уже при температурах 50...60 °C инактивируются. Инактивация ферментов необратима [4].<sup>1</sup> В этой связи исследование температурной зависимости сопротивления растений проводилось в диапазоне температур от -50 до 30 °C, при которых сохраняются жизненно важные функции зеленого растения. Образцы представляли собой зеленые листья (см. таблицу) с толщинами 70...150 мкм.

<sup>1</sup> Этим обстоятельством можно объяснить, почему непродолжительное воздействие высокой температуры убивает большинство организмов; часть их ферментов инактивируется, и обмен веществ продолжаться не может. Отметим для объективности, что существует несколько исключений из этого правила.

№	Название растения	$\rho \cdot 10^6$ , Ом·см ( $T = 300$ K)
1	<i>Plantago lanceolata</i> L.	2.0
2	<i>Taraxacum officinato</i> Wcb.	1.5
3	<i>Arctium lappa</i> L.	1.2
4	<i>Tilia platyphylla</i> Scop.	2.0
5	<i>Crataegus oxyacantha</i> L.	2.0
6	<i>Populus nigra</i> L.	1.5
7	<i>Fragaria vesca</i> L.	2.0

Спектры оптического пропускания  $\Pi(\hbar\omega)$  исследовались на установке, включающей монохроматор SPM-2 с кварцевой призмой. Спектры рекомбинационного излучения изучались при возбуждении листьев He-Ne лазером по методике, подробно описанной в [3].

2. Исследование электрического сопротивления на всех объектах показывает хорошее совпадение полученных значений удельного сопротивления, которое хорошо воспроизводится по площади листьев и указывает на их высокую электрическую однородность. Это обстоятельство неоднократно отмечалось нами ранее на основании данных оптических измерений [1,3,5] и, по-видимому, еще раз иллюстрирует важную роль гомеостаза в поддержании жизни. С понижением температуры сопротивление изученных образцов увеличивалось по экспоненциальному закону

$$R \sim \exp(E_p/kT),$$

где  $E_p$  — энергия активации сопротивления. Она составляет величину порядка 1 эВ в интервале температур 230...300 К (рис. 1). Интересно отметить, что при неоднократном термоциклировании представленные зависимости хорошо совпадали друг с другом в интервале температур 77...300 К. На наш взгляд, это важное обстоятельство свидетельствует о том, что при низких температурах большая часть ферментных белков не потеряла своих свойств, и при отогревании метаболические реакции восстанавливаются. Процесс обезвоживания (высыхания) зеленого листа приводит к увеличению его сопротивления на 6 порядков по величине (от  $10^4$  до  $10^{10}$  Ом). При этом сопротивление листа во времени изменялось по закону

$$R = R_0 \exp(t/\tau),$$

где  $R_0$  — сопротивление “свежего” листа,  $\tau$  — характерная постоянная времени при фиксированной температуре образ-

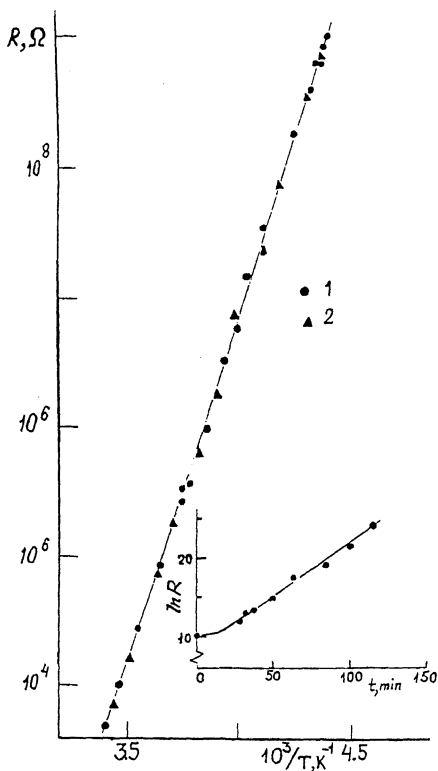


Рис. 1. Температурная и временная зависимость темнового сопротивления зеленых листьев растений *Arctium lappa* L. (1) и *Populus nigra* L. (2).

ца (рис. 1, кривая 2). Следует отметить, что  $\tau$  сильно зависит от  $T$ . Так, например, при  $T = 290$  К  $\tau = 6 \cdot 10^3$  с, а при  $T = 320$  К  $\tau = 6 \cdot 10^2$  с.

3. На рис. 2 представлены типичные спектральные зависимости оптического пропускания (кривая 1) и излучательной рекомбинации зеленых листьев, *in vivo* (кривая 2), одного из растений. Следует отметить, что аналогичные зависимости наблюдались на всех исследованных образцах (см. таблицу). В длинноволновой спектральной области (0.6...1.5 эВ) оптическое пропускание не превышает уровень  $\Pi \approx 20\%$ . С повышением энергии фотонов до 1.5 эВ наблюдается резко выраженный коротковолновый спад оптического пропускания практически до нуля при пороговом значении энергии порядка 1.8 эВ. Спектр излучательной рекомбинации, как видно из рис. 2, локализован в области края оптического пропускания зеленых листьев.

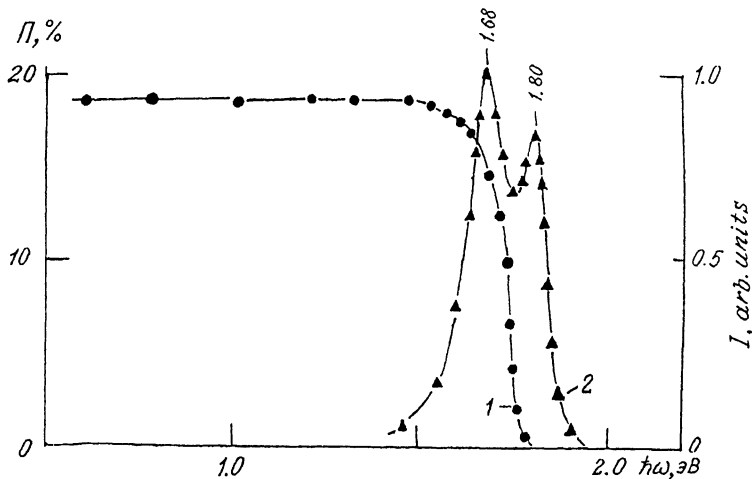


Рис. 2. Спектральные зависимости оптического пропускания (1) и излучательной рекомбинации (2) зеленых листьев *Fragaria vesca* L. при  $T = 300$  К (толщина 70 мкм).

4. Первое, что хотелось бы еще раз подчеркнуть, это хорошее совпадение и стабильность оптических и электрических характеристик всех изученных объектов. В частности, на них не влияют многочисленные изменения температуры образцов, вплоть до температур жидкого азота.

Обращают на себя внимание факты наличия резкого края в спектрах оптического пропускания и его соответствие спектрам рекомбинационного излучения. Такое поведение оптических характеристик биологических объектов снова [5] приводит к мысли о возможности существования в энергетическом спектре исследованных материалов запрещенной зоны  $E_G$  [6]. В этом случае полоса поглощения (рис. 2) связывается с переходами валентная зона-зона проводимости, происходящими под воздействием квантов с энергией, превышающей 1.8 эВ [6]. Тогда энергия активации сопротивления образцов может связываться с собственным межзонным термическим возбуждением, и оценка ширины зазора в энергетической зонной модели при  $T = 0$  дает значение

$$E_G(\text{OK}) = 2E_p \simeq 2 \text{ эВ}.$$

Излучательная рекомбинация в рамках указанной модели может быть связана с квазимежзонной рекомбинацией носителей, возбужденных светом с энергией кванта, превосходящей  $E_G$ .

## Список литературы

- [1] Шпунт В.Х., Рудь Ю.В. // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 13. С. 56-59.
- [2] Шпунт В.Х., Рудь В.Ю. // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 13. С. 50-55.
- [3] Шпунт В.Х., Рудь Ю.В., Рудь В.Ю. // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 16. С. 73.
- [4] Вилли К., Детье В. Биология. М., 1975. С. 87.
- [5] Шпунт В.Х., Рудь Ю.В., Цэндин К.Д. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 13. С. 41-46.
- [6] Симон Ж., Андре Ж.Ж. Молекулярные полупроводники. М., 1988. 344 с.

Физико-технический институт  
им. А.Ф.Иоффе  
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию  
27 июня 1994 г.

