

О.В. Коваленко, О.С. Морозов

Розкладання спектрів фотолюмінесценції біологічних об'єктів на складові, форма яких істотно відрізняється від елементарних гаусіанів

*Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара,
пр. Гагаріна, 72, м. Дніпропетровськ, 49010, Україна, e-mail: morozovs@i.ua*

Розв'язується завдання: на підставі аналізу спектру фотолюмінесценції (ФЛ) біологічного об'єкту і спектрів ФЛ складових його компонентів у випадку, якщо спектр ФЛ досліджуємого об'єкту або його компонентів не може бути розкладений на елементарні Гавсіани, отримати коефіцієнти, з якими спектри ФЛ компонентів входять до складу інтегральних спектрів ФЛ біологічного об'єкту. Завдання розв'язано на прикладі такого біологічного об'єкту як картопля та його основних компонентів: крохмалю, сахарози, лимонної і аскорбінової кислот. Цей метод фактично дозволяє знайти відсотковий вміст компонентів у досліджуємому об'єкті за допомогою оптичних вимірювань.

Ключові слова: оптичні вимірювання, фотолюмінесценція біологічного об'єкту, елементарні Гавсіани, картопля.

Стаття постуила до редакції 19.07.2010; прийнята до друку 15.12.2010.

Спектр фотолюмінесценции (ФЛ) является своеобразным “оптическим паспортом” исследуемого объекта. Его индивидуальные особенности в полном объёме проявляются при разложении интегрального спектра ФЛ на элементарные составляющие (полосы). Анализ спектров позволяет получить информацию об отдельных центрах свечения, их природе, концентрации, а также данные о количественном содержании излучающих компонент в сложных смесях, а также в биологических объектах. В процессе разложения сложных спектров ФЛ на индивидуальные составляющие особое внимание следует уделять тем участкам спектра, где эти полосы сильно перекрываются. При этом у нас нет необходимости полагать, что индивидуальные полосы должны иметь гауссову форму, хотя на практике часто прибегают к этой аппроксимации [1]. Именно точность измерений определяет неоднозначность разложения сложного интегрального спектра ФЛ на индивидуальные полосы гауссовой формы.

При разложении спектров ФЛ на индивидуальные полосы часто применяют хорошо известный математический метод Аленцева [1], который не требует начальных сведений о форме и положении максимумов перекрывающихся полос. Однако, если индивидуальные полосы ввиду большой ширины спектра перекрываются не только с ближайшими соседними полосами, но и с дальними, то применение этого метода сильно усложняется. Кроме того, реализация метода Аленцева предполагает использование нескольких спектров

ФЛ одного и того же объекта, полученных при различных внешних условиях, при этом спектры должны существенно отличаться друг от друга по форме огибающей, что не всегда практически реализуется. В связи с этим особое значение имеет предварительная экспериментальная информация о форме и положении максимумов каких-либо индивидуальных полос, которые содержатся в исследуемом сложном интегральном спектре ФЛ, т.к. их исключение существенным образом упрощает процесс дальнейшего разложения остатка на индивидуальные полосы. В этом плане хорошо известен метод электромодуляции на основе эффекта Франца-Келдыша [2], который позволяет выявить структуру спектров ФЛ полупроводников в местах концентрации электрического поля. Этот метод имеет и свои недостатки. Так при изменении приложенного напряжения может изменяться не только интенсивность максимумов, которые можно раскладывать методом Аленцева, и полуширина отдельных полос. Следовательно, при высоких напряжениях возможно “другое” перекрытие менее ярких индивидуальных полос люминесценции более яркими. Кроме того, дефекты кристаллической структуры полупроводника могут существенно перераспределить величину электрического поля вблизи одних и тех же центров люминесценции, что, в свою очередь, усложняет анализ экспериментальных данных. При этом ввиду наличия дефектов бывает крайне сложно в реальных условиях создать требуемое электрическое поле в бездефектной объёмной части полупроводника, что безусловно накладывает дополнительные

ограничения на условия проведения исследований.

Сверхчувствительный экспериментальный метод λ -модуляции [3, 4] позволяет выявить довольно малые по интенсивности полосы ФЛ и даже их фоновые повторения. В данном методе регистрируются первая или вторая производная основного сигнала. Это, с одной стороны, повышает чувствительность метода, а, с другой стороны, любая точка, где произошло изменение перегиба линии экспериментальной кривой, вызванное как помехой, неточностью измерений, так и наличием индивидуальной полосы излучения, будут проявляться в спектрах ФЛ λ -модулированного сигнала равноправно. Поэтому, если у исследователей нет предварительной информации о количестве индивидуальных полос в интегральном спектре ФЛ, влияние различных помех следует исключать с помощью статической обработки экспериментальных данных, что в свою очередь весьма трудоёмко.

Отдельное внимание следует уделить экспериментальному методу исследования кинетики затухания ФЛ при импульсном возбуждении, который при комнатной температуре обладает высокой чувствительностью, позволяя выявлять индивидуальные полосы ФЛ с полушириной $0,015 \div 0,02$ эВ [5, 6], обычно разрешаемые только при низких температурах. Суть метода состоит в том, что индивидуальный центр ФЛ каждого типа по-разному реагирует на воздействие возбуждающего светового импульса. Поэтому, измеряя интенсивность ФЛ в разные моменты затухания свечения, в виду индивидуальной постоянной затухания излучения для каждого центра свечения, создаётся возможность получить разрешённые во времени спектры ФЛ, форма которых имеет более сложную структуру, чем спектр ФЛ того же объекта, полученный при использовании непрерывного возбуждающего светового сигнала. При одной и той же малой длительности возбуждающего светового импульса, уменьшение его амплитуды позволяет “отсечь” вклад в спектр ФЛ тех центров свечения, которые имеют более значительное время разгорания ФЛ. При большей амплитуде возбуждающего импульса свечение медленно затухающих центров “маскирует” по интенсивности быстро затухающие центры и структура спектра ФЛ упрощается, постепенно переходя к той форме спектра ФЛ, которая соответствует непрерывному интенсивному возбуждению [6]. Сказанное позволяет экспериментальным путём выделить ряд индивидуальных полос в составе интегрального спектра ФЛ при комнатной температуре. Следует отметить и слабые стороны этой методики: при описанном способе регистрации ФЛ необходимо предъявлять более высокие требования к чувствительности и разрешающей способности установки по времени. Кроме того, в этом случае в спектрах ФЛ, помимо излучения объёмных центров свечения, проявляются дополнительные полосы, обусловленные излучением поверхностных дефектов,

а также адсорбированных на поверхности образца молекулярных комплексов (так называемая радикалолюминесценция). Всё это, в свою очередь, приводит к усложнению интерпретации полученных результатов.

К задаче о разложении интегрального спектра ФЛ на индивидуальные полосы можно подойти с формально математической точки зрения. Существуют программные пакеты, которые с определенной точностью справляются с задачей разложения интегрального спектра на индивидуальные гауссианы. Очевидно, что такие разложения многовариантны и не привязаны к реальным центрам излучения. Другое дело, когда на основании каких-либо экспериментальных данных известны параметры некоторых гауссианов, содержащихся в интегральном спектре ФЛ. Тогда используя математическую обработку спектров, вычитая из интегрального спектра ФЛ известные гауссианы, создаётся возможность детально проанализировать остаток в плане выявления в нём дополнительных индивидуальных полос, экспериментальные данные для которых отсутствуют или противоречивы. Такой подход был нами апробирован при анализе поведения индивидуальных полос излучения в спектрах ФЛ кристаллов $ZnS:Mn$ при их пластической деформации [7, 8].

При разложении на индивидуальные полосы спектров ФЛ органических соединений появляется дополнительная проблема. Очевидно, что в этом случае индивидуальные полосы, характеризующие излучение отдельных компонент, не являются гауссианами и могут иметь сложную форму, что затрудняет разложение. Если экспериментальным путем получена информация о спектрах ФЛ основных индивидуальных компонент, то разложение сложного спектра ФЛ органического соединения может быть сведено к решению обратной задачи: при помощи математической обработки спектров ФЛ выяснить с какими весовыми коэффициентами спектры ФЛ индивидуальных компонент входят в состав интегрального спектра. Зная это, становится возможным из спектров ФЛ компонент соединения синтезировать интегральный спектр ФЛ и, сопоставив его с реальным спектром, определить разницу или остаток. Анализируя полученный результат, можем судить о точности нашего разложения (или синтеза), а также обнаружить дополнительные полосы излучения неучтенных компонент. Такой путь анализа спектров ФЛ биологических объектов мы решили апробировать на примере картофеля.

Согласно литературным данным [9] клубень картофеля на 78,6 % состоит из воды, которая не обладает заметной люминесценцией при данном возбуждении в исследуемом спектральном диапазоне. Приведем остальные составляющие сухого вещества картофеля в порядке убывания их процентного содержания: крахмал – 15 %, белки – 2 %, сахароза – 1,3 %, жиры – 0,4 %, лимонная кислота – 0,2 %, аскорбиновая кислота – 0,02 %,

минеральные соли, витамины. Нашей задачей являлось определение процентного содержания составляющих сложного вещества способных люминесцировать на основании анализа спектров ФЛ самого вещества, ограничиваясь в разложении лишь избранными составляющими, т.е. теми, которые имели высокий квантовый выход ФЛ. В нашем случае таких составляющих (m) было 4: крахмал, сахароза, лимонная и аскорбиновая кислоты. Последние, несмотря на малую концентрацию в сухом веществе картофеля, обладают высоким квантовым выходом ФЛ, существенно превышающим ФЛ белков, жиров и витаминов. Следует подчеркнуть, что минеральные соли люминесцируют также крайне слабо.

В [11] описаны результаты исследования спектров ФЛ молодого картофеля и определены спектральные характеристики основных его компонент: крахмала, сахарозы, лимонной и аскорбиновой кислот. В данной работе решалась задача поиска коэффициентов, с которыми спектры ФЛ основных компонент биологического соединения входят в состав его интегрального спектра ФЛ. Фактически реализация данного разложения позволяет определить процентное содержание компонент в исследуемом объекте по данным оптических измерений. Процедура разложения была реализована на основе анализа гистограммы и применения различных математических подходов с целью сравнения полученных результатов. Решение задач осуществлялось методами линейного программирования и наименьших квадратов. Выбор интервала длин волн, в котором экспериментально определялась интенсивность излучения ФЛ ограничен, поскольку в коротковолновой области спектров ФЛ (менее 38 нм) используемое оборудование для их получения дает малодостоверные результаты измерений из-за малой спектральной чувствительности фотоприемника. В длинноволновой области спектра ФЛ (более 800 нм) сигнал крайне слаб и не поддается достоверному анализу. На первом этапе полученные спектры ФЛ были сглажены, при этом каждые соседние четыре точки заменены одной, являющейся их средним арифметическим. Затем спектры сглаживались быстрым преобразованием Фурье по трём точкам. После сглаживания в интервале 380-800 нм осталось всего 105 точек, в которых определены значения интенсивности спектра ФЛ картофеля и его составляющих; точки отстоят друг от друга на 4 нм. Сглаженные спектры ФЛ, измеренные при $T = 300$ К, с учётом квантового выхода на единицу объема вещества, приведены на рис. 1.

Далее, записываем для какой-то одной выбранной точки этого интервала алгебраическое уравнение, в котором сумма интенсивностей ФЛ выбранных основных компонент, умноженных на соответствующие коэффициенты, отражающие их количество в составе картофеля, приравнялось к интенсивности ФЛ самого картофеля. Для определения неизвестных коэффициентов к составленному уравнению надо добавить еще три

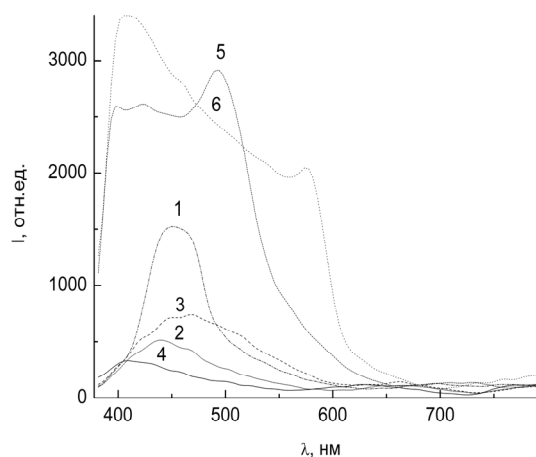


Рис. 1. Спектры ФЛ молодого (1), старого (2) картофеля, крахмала (3), сахарозы (4), лимонной (5) и аскорбиновой (6) кислоты.

других, которые вместе составляют систему четырех линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) относительно четырех неизвестных. Таких СЛАУ, учитывая, что всего точек на исследуемом промежутке длин волн – 105, можно составить 4780230 комбинаций. Данное число определяется числом сочетаний из 105 по 4. Комбинацию назовем “реальной”, если соответствующая ей СЛАУ имеет реальные корни, т.е. соответствует физически непротиворечивым результатам. По полученным данным построим гистограмму (рис. 2), показывающую количество “реальных” комбинаций СЛАУ, составленных вышеописанным способом на исследованном интервале длин волн. На гистограмме видно, что область длин волн излучения от 501,5 нм до 673,5 нм (всего 44 точки), имеет наиболее значительное число “реальных” комбинаций. Рассматривая гистограмму на рис. 1, замечаем, что число “реальных” комбинаций (N) большинства точек этой области не имеет сильного разброса по значению. Хотя в ней есть точки: четыре на промежутке длин волн - 533,5 ÷ 545,5 нм, одна - 553,5 нм и три на промежутке длин волн - 569,5 ÷ 577,5 нм, для которых количество реальных комбинаций резко уменьшается. Уменьшение количества “реальных” комбинаций на этих участках связано с тем, что суперпозицией учтенных основных составляющих нельзя получить огибающую спектра ФЛ молодого картофеля, т.к. мы отказались от учёта отрицательных корней ввиду того, что в них отсутствует физический смысл. Мы полагаем, что в этих точках на кривой интегрального спектра ФЛ в большой степени проявляется ФЛ неосновных компонент, входящих в состав молодого картофеля. На выбранном промежутке выбираем 15 точек, подлежащих дальнейшему анализу, с целью нахождения неизвестных коэффициентов, начиная от первой (509,5 нм) и до 15 (597,5 нм). Из 15 точек выбираем 4 для получения необходимого решения. Все точки выбираются из условия максимального количества “реальных” комбинаций. Первая и

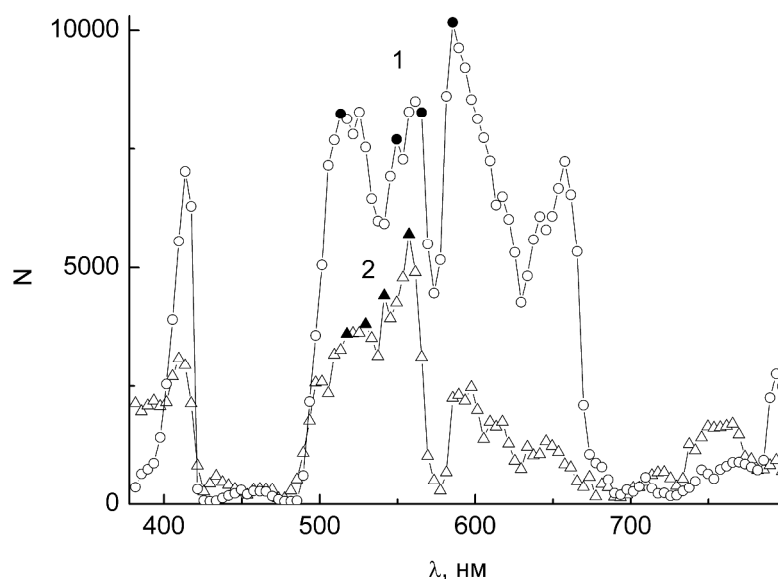


Рис. 2. Количество “реальных” комбинаций для каждой точки спектра ФЛ на всем исследованном интервале длин волн для молодого (1) и старого (2) картофеля. Закрашенными точками отмечены те, которые дали решения, приведенные в табл. 1 (строки “анализ гистограммы”).

четвертая точки должны быть на противоположных концах выбранного промежутка длин волн. Вторая и третья точки выбираются внутри данного промежутка с учетом равномерного удаления друг от друга и от краёв. В результате получаем четыре точки под номерами 2, 7, 10, 12, которым соответствует следующие длины волн: 513,5 (2); 549,5 (7); 565,5 (10); 585,5 (12). Используя выбранные точки, находим коэффициенты решения СЛАУ. Это решение приведено в табл.1 (строка “анализ гистограммы”).

Далее, попытаемся уточнить полученное

решение, используя приемы линейного программирования [12] путём поиска условного минимума линейной формы F_1 (1) при определенных линейных ограничениях (2 - 4). Физический смысл ограничений состоит в следующем: для каждой длины волны интенсивность ФЛ картофеля должна быть не меньше суммы интенсивностей ФЛ составляющих, взятых со своими коэффициентами – ограничения (2); количество картофеля принимается равным 1, а количества веществ его составляющих должны быть положительными – ограничения (3) с долями меньшими, чем 1 – ограничения (4).

Таблица 1

Коэффициенты, с которыми спектры ФЛ основных компонент входят в состав интегрального спектра ФЛ молодого и старого картофеля, полученные разными способами.

Метод, используемый для расчета	Значения коэффициентов			
	Крахмал	Сахароза	Лимонная кислота	Аскорбиновая кислота
Молодой картофель				
Анализ гистограммы	0,47	0,16	0,055	0,0119
Симплекс-метод линейного программирования	0,50	0,29	0,048	0,0052
Метод наименьших квадратов с использованием псевдообратной матрицы	0,54	0,26	0,044	0,0071
Старый картофель				
Анализ гистограммы	0,19	0,56	0,011	0,0052
Симплекс-метод линейного программирования	0,19	0,58	0,010	0,0043
Метод наименьших квадратов, с использованием псевдообратной матрицы	0,29	0,44	0,012	0,0060

$$I_j^{\text{картофеля}} \geq I_j^{\text{крахмала}} \cdot x_1 + I_j^{\text{сахаридов}} \cdot x_2 + I_j^{\text{лим.к-ты}} \cdot x_3 + I_j^{\text{аск.к-ты}} \cdot x_4, \text{ где } j=1 \dots 15 \quad (2)$$

$$F1=1-x_1-x_2-x_3-x_4 \rightarrow \text{Minimum}; \quad (1)$$

$$x_j \geq 0, \text{ где } j=1 \dots 4 \quad (3)$$

$$x_j \leq 1, \text{ где } j=1 \dots 4 \quad (4)$$

Количество условий в неравенствах (2) – 15, неравенствах (3) – 4, неравенствах (4) – 4, всего условий – 23. Задача на поиск условного экстремума

формы (1) ищется на 15 точках при помощи функции Лагранжа. Для этого внесем в форму (1) сумму 23 ограничений, каждое со своими неизвестными множителями Лагранжа. Составляя функцию Лагранжа, обозначим множители Лагранжа через μ_j ($j = 1 \dots 23$) и сделаем замену переменной $y_1=1-x_1$ для того, чтобы линейная форма была однородной:

$$L(y_1, x_2, x_3, x_4, \mu) = y_1 - x_2 - x_3 - x_4 - \sum_{j=1 \dots 15} \mu_j \cdot (I_j^{\text{картофеля}} - I_j^{\text{крахмала}} + I_j^{\text{крахмала}} \cdot y_1 - I_j^{\text{сахаридов}} \cdot x_2 - I_j^{\text{лим.к-ты}} \cdot x_3 - I_j^{\text{аск.к-ты}} \cdot x_4) - \mu_{16} \cdot (y_1 - 1) - \mu_{17} \cdot (x_2 - 1) - \mu_{18} \cdot (x_3 - 1) - \mu_{19} \cdot (x_4 - 1) + \mu_{20} \cdot y_1 + \mu_{21} \cdot x_2 + \mu_{22} \cdot x_3 + \mu_{23} \cdot x_4 \quad (5)$$

Если в процессе решения задачи на каком-либо этапе для “реальной” комбинации получится результат, при котором все множители Лагранжа будут неотрицательными, то поставленная цель будет достигнута; т.е. линейная функция Лагранжа при данных ограничениях достигает минимального значения. В функции Лагранжа группируем отдельно все слагаемые, содержащие неизвестные y_1 , также поступаем с остальными слагаемыми, которые содержат x_2, x_3, x_4 . Далее приравняем к нулю коэффициенты при неизвестных y_1, x_2, x_3, x_4 . Таким образом приходим к системе четырех уравнений относительно μ_j , матрица коэффициентов которых представляет собой транспонированную матрицу от основной, состоящей из коэффициентов при неизвестных y_1, x_2, x_3, x_4 в системе ограничений (2-4), а столбец свободных членов содержит коэффициенты при этих неизвестных в линейной форме. Так как функция, минимум которой мы разыскиваем, - предполагается линейной, то он может находиться только на границе пересечения гиперплоскостей в четырехмерном пространстве, каждая из которых определяется одним из 23 равенств (2-4). Таким образом, граница состоит из дискретных угловых точек, каждая из которых определяется пересечением четырех гиперплоскостей (по числу определяемых нами коэффициентов). Из угловых точек нужно найти ту, которая соответствует минимуму формы (1). Это и будет оптимальное решение. Реализация этой проверки для молодого картофеля приведена в табл. 1 (строка “симплекс-метод...”).

Для получения второго решения задачи на выбранном промежутке длин волн решаем переопределенную систему алгебраических уравнений (2) при помощи метода наименьших квадратов, с использованием псевдообратной матрицы [13]. Этот метод позволяет получить решение по выполнению условия минимизации “квадратичного отклонения” на множестве,

состоящем из точек исследуемого промежутка. Использование псевдообратной матрицы позволяет минимизировать не только “квадратичное отклонение”, но и длину столбца решений $\{y_1, x_2, x_3, x_4\}$, для которых отклонение (6) имеет минимальное значение для столбца решения $\{y_1, x_2, x_3, x_4\}_0$.

$$F_2 = |x_1 - 1|^2 + |x_2|^2 + |x_3|^2 + |x_4|^2 \rightarrow \text{Minimum} \quad (6)$$

Данный метод дает решение $\{x_1, x_2, x_3, x_4\}_0$.

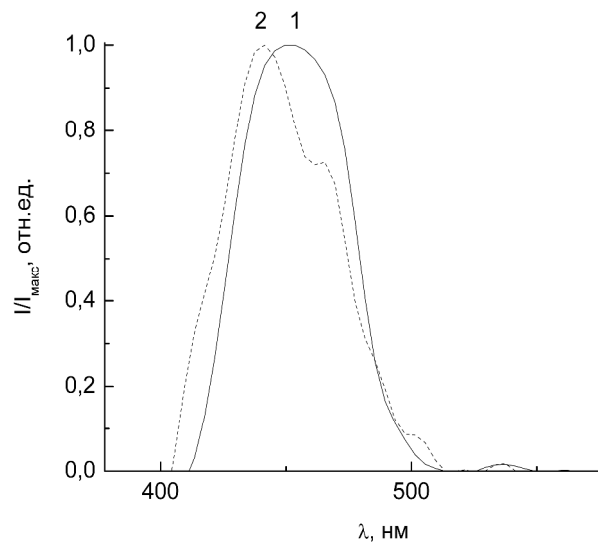


Рис. 3. Нормированные спектры “излучения” остатков, полученные в результате вычитания реальных спектров ФЛ молодого (1) и старого (2) картофеля и соответствующих синтезированных спектров ФЛ картофеля, обусловленных 4 основными компонентами. Для построения синтезированного спектра ФЛ использовались коэффициенты, приведенные в табл. 1 (строки “анализ гистограммы”).

приведенное в табл. 2 (строка “метод наименьших квадратов...”). Как видим, значения коэффициентов, определенные различными методами оказались близкими.

Подобный анализ спектров ФЛ в исследованном интервале длин волн был осуществлен и для старого картофеля на основе данных, приведенных на рис. 1, 2. Здесь следует подчеркнуть, что спектр ФЛ старого картофеля был менее интенсивным, а содержание 4 основных его компонент претерпели изменения. Как известно, по мере хранения картофеля (не менее 7 - 8 месяцев) концентрация кислот в нём уменьшается, а крахмал в ходе биохимических реакций переходит в сахарозу, увеличивая её процентное содержание. Именно это и подтверждается нашим разложением (табл. 1) выполненным теми же способами. Вычитание синтезированного по 4 компонентам спектра ФЛ картофеля из реальных спектров ФЛ молодого и старого картофеля позволили получить спектры “излучения” остатков, характеризующие вклады

неучтенных компонент (рис. 3). Как видно, полученные спектры подобны, что, в свою очередь, свидетельствует об устойчивости полученных решений. Следует отметить, что методика разложения интегрального спектра ФЛ картофеля на индивидуальные составляющие позволяет решить две прикладные задачи. Во-первых, на основе это анализа можно сделать заключение о качестве картофеля, оценив количественный состав основных его компонент. Во-вторых, в случае, когда клубни картофеля будут насыщены вредными химическими соединениями, то они сразу же проявят себя в результате такого анализа, т.к. их спектры ФЛ будут существенно отличаться от приведенных на рис. 1, также как и спектры “излучения” остатков, приведенных на рис. 3. Ввиду вышесказанного, разложение спектра ФЛ картофеля на указанные четыре составляющие окажется невозможным. Подобное может иметь место и в том случае, когда картофель при хранении начнёт гнить и в его спектре ФЛ проявится излучение бактерий.

- [1] М.В. Фок. Разделение сложных спектров на индивидуальные полосы при помощи обобщённого метода Алленца // *Труды ФИАН СССР*, **59**, сс. 3-24 (1972).
- [2] В.А. Тягай, О.В. Снитко. *Электроотражение света в полупроводниках*. Наукова думка, К. 304 с.(1980).
- [3] В.В. Брайлоский, В.П. Махній, М.М. Сльотов, Б.М. Собіщанський, О.В. Стец, І.В. Ткаченко. Використання модуляційної спектроскопії для визначення параметрів рекомбінаційних центрів // *Вимір. і обчисл. техніка в технолог. процесах*, **1**(9), сс. 71-73 (2002).
- [4] В.П. Махній, М.М. Сльотов, Ю.Я. Чабан. Застосування λ - модуляції для визначення енергетичної структури шарів широкозонних II-VI і III-V сполук // *Науковий вісник ЧДУ. Фізика. Електроніка*, **63**, сс. 87-90 (1999).
- [5] Ю.В. Ушаков. Авторское свидетельство №996921 “Способ получения сложной структуры в спектрах люминесцирующих кристаллов” // *Государственный Комитет СССР по делам изобретений и открытий*, зарегистрировано в Государственном реестре изобретений СССР 14.10.81.
- [6] А.В. Коваленко, А.С. Морозов, Ю.В. Ушаков, Т.А. Прокофьев. Исследование кинетики затухания люминесценции в кристаллах ZnS:Mn при комнатной температуре // *Вісник Дніпропетр. ун-ту. Фізика. Радіоелектроніка*, **12**(2/2), сс. 62-67 (2004).
- [7] М.Ф. Буланий, А. А. Горбань, А. В. Коваленко, Б. А. Полежаев, Т. А. Прокофьев, О. В. Хмеленко. Исследование фотолюминесценции ионов Mn^{2+} в пластически деформированных монокристаллах ZnS. // *Изв. вузов. Фізика*, **45**(12), сс. 66-70 (2002).
- [8] T.A. Prokofiev, A.V. Kovalenko, B.A. Polezaev, M.F. Bulanyi, A.A. Gorban, O.V. Hmelenko. Individual glow bands of Mn^{2+} ions photoluminescence in practically deformed ZnS single crystals. // *Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics*, **7**(1), pp. 63-67 (2004).
- [9] И.М. Скурихин, В. А. Тутельян. *Химический состав российских пищевых продуктов*. ДеЛи принт М. 236 с. (2002).
- [10] Б.Е. Маргулис. *Системы линейных уравнений*. Гос. изд. ф.-м. лит.-ры. **34**, М. 96 с. (1960).
- [11] О.В. Коваленко, О.С. Морозов. Оцінка якості бульб картоплі за даними аналізу їх спектрів фотолюмінесценції // *Тези міжн. наук. конф. “Фізичні методи в екології, біології та медицині”*, Вид-во ЛНУ, сс. 23-24(2008).
- [12] Т.И. Марчук. *Методы вычислительной математики*, Наука, М. 534 с. (1980).
- [13] Ф.Р. Гантмахер. *Теория матриц*, Наука, М. 575 с. (1967).

Decomposition of Photoluminescence Spectrums of Biological Objects on Constituents, Which Form Substantially Differs from Elementary Gaussians

Oles Gonchar Dnepropetrovsk National University

72 Gagarina av., Dnepropetrovsk 49010, Ukraine, e-mail: morozovs@i.ua

A task is examined: on the basis of analysis the photoluminescence (PL) spectra of biological object and PL spectra of constituents of his components, in the case where elementary Gaussians do not complete the PL spectra of the investigated object or it's components, to find the coefficients with the PL spectra of components enter in the complement of the integral PL spectra of the biological object. This task decided on the example of such biological object as a potato and its basis components: starch, sucrose, citric and ascorbic acids. This method actually allows finding the percentage of constituents in the investigated object with the help of optical measuring.

Key words: optical measuring, photoluminescence of biological object, elementary Gaussian, potato.