

УДК 535.37

ПОСТРОЕНИЕ ГРАДУИРОВОЧНЫХ ШКАЛ ДЛЯ ДЕТЕКТОРОВ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ОСНОВЕ ТРЕХКОМПОНЕНТНЫХ РАСТВОРОВ КРАСИТЕЛЕЙ

Попечниц В.И.

Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» БГУ
Минск, Республика Беларусь

Облученные рентгеновским или гамма излучением растворы органических красителей обесцвечиваются. Такое обесцвечивание растворов вызывается изменением состава и структуры молекул красителей в результате химического взаимодействия последних с кислородсодержащими радикалами и ион-радикалами, образующимися в растворах вследствие радиолиза растворителей [1].

Многокомпонентные растворы органических красителей под воздействием ионизирующего излучения не только обесцвечиваются, но, как правило, изменяют цвет, что позволяет визуально определить величину воздействовавшей на раствор радиационной дозы, используя для этого предварительно построенную цветовую градуировочную шкалу.

Простейшим многокомпонентным раствором красителей является трехкомпонентный раствор, содержащий два красителя (один краситель поглощает свет в длинноволновой области видимого спектра, другой – в коротковолновой) и растворитель.

Для построения градуировочной цветовой шкалы необходимо сначала провести измерение зависимости интенсивности поглощения (оптической плотности раствора) в максимумах длинноволновых полос поглощения от времени облучения раствора ионизирующим излучением известной мощности дозы. Пример такой зависимости представлен на рисунке 1.

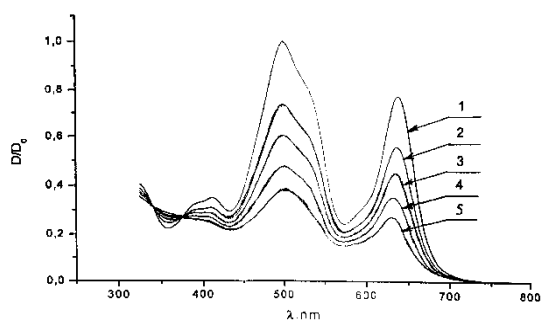


Рисунок 1 – Нормированные спектры поглощения раствора кислотный алы ($\lambda_m = 495$ нм) + кислотный ярко-голубой 3 ($\lambda_m = 640$ нм) в воде:
1 – необлученный раствор; 2 – гамма-облученный в течение 5 мин; 3 – гамма-облученный в течении 10 мин; 4 – 15 мин; 5 – 20 мин
Мощность дозы гамма облучения – 72 Р/с (0,63 Гр/с)

Проведенные измерения показали, что такая зависимость является экспоненциальной. Опти-

ческая плотность раствора в максимуме длинноволновой полосы поглощения пропорциональна концентрации не разрушенных молекул красителя. Для характеристики скорости радиационного разрушения молекул красителя в растворе обычно используются времена «полуразрушения» (уменьшения вдвое исходной концентрации) в секундах в расчете на мощность дозы 1 Гр/с ($t_{1/2}$).

Для водных растворов красителей исследованных в данной работе при облучении гамма квантами ^{60}Co времена «полуразрушения» красителей в расчете на мощность дозы 1 Гр/с имели следующие значения: триафлавин – $10,5 \cdot 10^2$ с, малахитовый зеленый – $3,80 \cdot 10^2$ с, фуксин основание – $11,1 \cdot 10^2$ с, кислотный ярко-голубой 3 – $2,46 \cdot 10^2$ с, родамин 6Ж – $5,63 \cdot 10^2$ с.

Прежде чем приготовить трехкомпонентный раствор, приготавливались водные растворы каждого красителя (один из которых поглощал свет в коротковолновом диапазоне видимого света, другой – в длинноволновом). Например, приготавливался водный раствор триафлавина концентрации $2 \cdot 10^{-3}$ моль/л и водный раствор малахитового зеленого концентрации 10^{-3} моль/л. Затем эти растворы сливались в равных объемах (для упрощения расчетов концентраций облученных трехкомпонентных растворов). Таким образом, первоначальный раствор имел концентрацию триафлавина 10^{-3} моль/л, а малахитового зеленого – $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л. Цвет получившегося раствора в стандартной стеклянной кювете (площадь поперечного сечения 1 см x 1 см. = 1 см²) был темно-зеленым (почти черным), что соответствует полоске под № 0 на рисунке 2. Учитывая, что время «полуразрушения» малахитового зеленого в расчете на мощность дозы 1 Гр/с равно $3,80 \cdot 10^2$ с, его концентрация в растворе при дозе облучения 380 Гр уменьшится вдвое и составит $2,5 \cdot 10^{-4}$ моль/л, а концентрация триафлавина при этом составит $8,0 \cdot 10^{-4}$ моль/л (для триафлавина $t_{1/2} = 10,5 \cdot 10^2$ с). Цвет полученного раствора соответствует цвету полоски № 1 на рисунке 2. При дозе облучения 760 Гр концентрация малахитового зеленого в растворе уменьшится в четыре раза и составит $1,25 \cdot 10^{-4}$ моль/л, а концентрация триафлавина при этом составит $6,4 \cdot 10^{-4}$ моль/л (цвет полученного раствора соответствует цвету полоски № 2 на рисунке 2). Таким образом, разбавляя растворы каждого красителя в нужной пропорции и сливая их вместе в равных объемах,

получаем растворы соответствующего цвета, показывающие изменение цвета трехкомпонентного раствора при увеличении дозы облучения (рисунок 2). Из рисунка 2 видно, что цвет раствора при увеличении дозы облучения изменяется от интенсивного зеленого до оранжевого (оранжевый цвет соответствует цвету раствора более радиационно стойкого красителя – трипафлавина), при этом уменьшается насыщенность цвета.

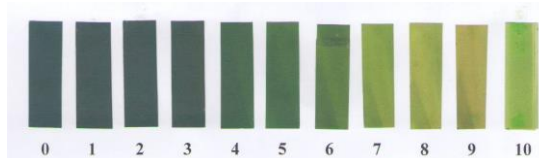


Рисунок 2 – Градуировочная цветовая шкала для трехкомпонентного водного раствора трипафлавина (первоначальная концентрация 10^{-3} моль/л) + малахитовый зеленый (первоначальная концентрация – $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л):
0 – необлученный раствор; 1 – доза облучения 380 Гр; 2 – 760 Гр; 3 – 1140 Гр; 4 – 1520 Гр; 5 – 1900 Гр; 6 – 2260 Гр; 7 – 2660 Гр; 8 – 3040 Гр; 9 – 3420 Гр; 10 – 3800 Гр

Важную роль играет выбор первоначальных концентраций красителей трехкомпонентного раствора. Если оптическая плотность трехкомпонентного раствора больше примерно 2,5, то цветовые различия между несколькими первыми полосками будут небольшими, что уменьшает точность визуального определения поглощенной дозы (полоски №№ 1 – 3, на рисунке 2). Высокая первоначальная концентрация раствора позволяет увеличить диапазон регистрируемых визуально радиационных доз (от первоначальной концентрации до практически полного обесцвечивания раствора), но уменьшает точность определения дозы, а уменьшая первоначальную концентрацию можно увеличить точность, но при этом уменьшается регистрируемый диапазон доз. Поэтому первоначальные концентрации красителей в трехкомпонентном растворе следует подбирать исходя из конкретных требований, предъявляемым к дозиметрам данного типа.

На рисунке 3 представлена градуировочная цветовая шкала, для водного трехкомпонентного раствора фуксин основание (более радиационно-стойкий раствор) + малахитовый зеленый, концентрация первого красителя в данном растворе составляла $5,5 \cdot 10^{-5}$ моль/л, второго – $7,5 \cdot 10^{-5}$ моль/л. Цвет раствора при увеличении дозы облучения изменялся от фиолетового до розового (величина шага градации 200 Гр).

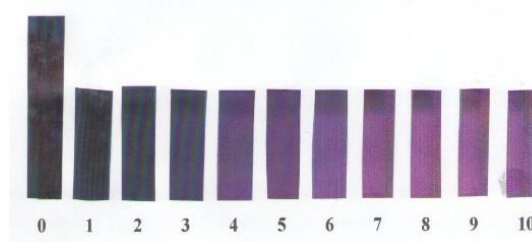


Рисунок 3 – Градуировочная цветовая шкала для трехкомпонентного водного раствора фуксин основание (первоначальная концентрация $5,5 \cdot 10^{-5}$ моль/л) + малахитовый зеленый (первоначальная концентрация – $7,5 \cdot 10^{-5}$ моль/л):
0 – необлученный раствор; 1 – доза облучения 200 Гр; 2 – 400 Гр; 3 – 600 Гр; 4 – 800 Гр; 5 – 1000 Гр; 6 – 1200 Гр; 7 – 1400 Гр; 8 – 1600 Гр; 9 – 1800 Гр; 10 – 2000 Гр

На рисунке 4 представлена градуировочная цветовая шкала, для водного трехкомпонентного раствора фуксин основание + малахитовый зеленый таких же концентраций красителей как на рисунке 3, но с учетом добавления в трехкомпонентный раствор ортофосфорной кислоты (H_3PO_4) концентрации $8 \cdot 10^{-3}$ моль/л, что позволило улучшить цветоконтрастные характеристики раствора.

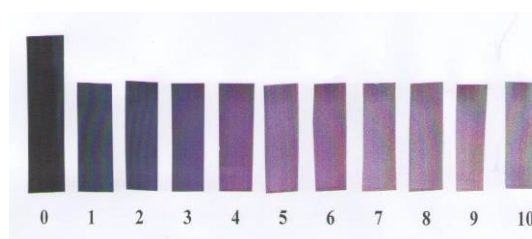


Рисунок 4 – Градуировочная цветовая шкала для трехкомпонентного водного раствора фуксин основание (первоначальная концентрация $5,5 \cdot 10^{-5}$ моль/л) + малахитовый зеленый (первоначальная концентрация – $7,5 \cdot 10^{-5}$ моль/л) с добавлением в раствор ортофосфорной кислоты концентрации $2 \cdot 10^{-2}$ моль/л:
0 – необлученный раствор; 1 – доза облучения 200 Гр; 2 – 400 Гр; 3 – 600 Гр; 4 – 800 Гр; 5 – 1000 Гр; 6 – 1200 Гр; 7 – 1400 Гр; 8 – 1600 Гр; 9 – 1800 Гр; 10 – 2000 Гр

Литература

- Попечиц, В.И. Влияние гамма-облучения на спектры поглощения растворов кислотных красителей / В.И.Попечиц // Журнал прикладной спектроскопии. – 2003. – Т. 70, № 1. – С. 34–37.