

УДК 535.34

Барун В.В., Иванов А.П. (Республика Беларусь, Минск)

ОСОБЕННОСТИ ЭФФЕКТА «СИТА» В БИОТКАНИ В ИНТЕРВАЛЕ ДЛИН ВОЛН 1 – 2.5 МКМ

Оптические свойства кожного покрова человека в интервале длин волн $\lambda = 0.4 - 1$ мкм достаточно хорошо изучены. Это связано с традиционным использованием видимой – ближней ИК области спектра для научных и практических медико-биологических исследований. В настоящее время созданы и находят широкое применение волоконные лазеры, генерирующие свет в длинноволновом ИК диапазоне. Принципиальным отличием этого спектрального интервала от $0.4 - 1$ мкм является сильное поглощение воды – одной из основных компонент и ткани-основы, и крови. Объемная концентрация воды составляет $75 - 90\%$. Для построения оптической модели ткани при $\lambda = 1 - 2.5$ мкм, необходимой для описания распространения света ИК диапазона применительно к различным задачам диагностики и терапии, указанный эффект, несомненно, следует учитывать. Данная работа посвящена одному из этапов создания такой модели, а именно – изучению влияния включений на оптические параметры элементарного объема ткани или т.н. эффекту «сита».

С оптической точки зрения в интервале длин волн $\lambda = 1 - 2.5$ мкм мягкая биоткань представляет собой поглощающую свет матрицу дисперсной среды, в которой содержатся локализованные (занимающие ограниченный по пространству объем) эритроциты и кровеносные сосуды. В видимой – ближней ИК области спектра поглощением матрицы пренебрегают из-за его малости по сравнению с гемоглобином крови. Однако очевидно, что в общем случае так поступать нельзя. В этом легко убедиться, если в обычной формуле (1), описывающей эффект «сита» для поглощения, перейти к случаю $k_1 \rightarrow k_2$, где k_1 и k_2 – показатели поглощения соответственно матрицы и включений. Естественно, что здесь показатель поглощения k всей среды в целом должен совпадать с k_1 или k_2 . В связи со сказанным, соотношения для оценки эффекта «сита» следует изменить. Это несложно сделать, если заменить исходную поглощающую дисперсную среду (левая часть рис.) алгебраической суммой макроскопически однородной матрицы, включений с их первоначальным показателем поглощения и включений с показателем поглощения матрицы. Легко убедиться, что накладывая друг на друга три объекта в правой части рис. со своими знаками, получим исходную среду.

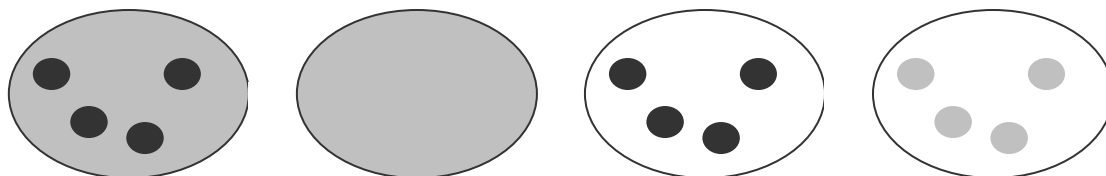


Рисунок 1 – Схема представления дисперсной среды (серая) с включениями (черные) в виде алгебраической суммы эквивалентных сред, где белым цветом обозначена матрица без поглощения

Представим сказанное выше в математической форме. Традиционно эффект «сита» для поглощения записывают в виде

$$k = k_1(1 - f) + C(k_2L)fk_2, \quad (1)$$

где $C \leq 1$ – коэффициент, зависящий от характерного оптического размера включений k_2L (L – геометрический размер), f – объемная концентрация включений. Отметим, что второе слагаемое в (1) дает вклад включений в k . Очевидно, что в общем случае $k \neq k_1$ при $k_1 \rightarrow k_2$. Просуммируем показатели поглощения трех сред из правой части рис. Это несложно сделать, т.к. здесь включения содержатся уже в непоглощающей матрице и можно пользоваться (1). Получим

$$k = k_1 + f[C(k_2L)k_2 - C(k_1L)k_1]. \quad (2)$$

Если поглощение матрицы мало, т.е. $k_1L \ll 1$, то $C(k_1L) \rightarrow 1$, и (2) переходит в обычную формулу (1). Если $k_1 \rightarrow k_2$, то $k \equiv k_1$. Иными словами, все предельные переходы в (2) соблюдены.

В работе рассмотрены все феноменологические параметры элементарного объема ткани – показатели поглощения и рассеяния, коэффициент асимметрии индикатрисы при $\lambda = 1 - 2.5$ мкм. Отмечены длины волн, где влияние эффекта «сита» существенно и требует особого учета в оптической модели. Полученные результаты актуальны для исследования переноса ИК излучения в среде и его воздействия на биоткань в полосах поглощения воды.