

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИСПЕРСНОЙ СРЕДЫ, СОДЕРЖАЩЕЙ РАССЕИВАЮЩИЕ И ПОГЛОЩАЮЩИЕ СВЕТ ВКЛЮЧЕНИЯ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ

А. П. Иванов¹, В. В. Барун^{1,2}

¹Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Минск

²Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, Минск

E-mail: barun@dragon.bas-net.by

Очень часто в среде дисперсный материал распределен не равномерно, а локализован в определенных местах или во включениях. Форма включений и их ориентация в пространстве могут быть самые разные. Свет в такой системе будет распространяться по-другому, чем в случае, когда то же количество дисперсного вещества распределено равномерно по среде, т.к. при наличии включений возникает много свободных участков («пор» или «дырок»), где излучение не взаимодействует со средой. Это свидетельствует об изменении феноменологических параметров элементарного объема среды, входящих в энергетическое уравнение переноса излучения. Такая ситуация имеет место достаточно часто. Приведем примеры из биомедицинской оптики. При агрегации эритроцитов в крови объем или масса гемоглобина сохраняется, но форма включений меняется. Аналогична ситуация наблюдается при нарушении осмотического баланса крови, когда эритроциты «разбухают» или, наоборот, «сжимаются». Следовательно, в этих случаях будут варьироваться и оптические параметры биоткани. Кроме того, в цельной крови объемная концентрация эритроцитов составляет десятки процентов, что может оказать влияние на ее показатель поглощения. Данная работа направлена на аналитический учет указанных факторов, связанных с наличием в среде включений произвольной формы.

Рисунок иллюстрирует изменение спектрального вклада крови μ_a и μ_{eff} в, соответственно, показатель поглощения (a) и эффективный показатель рассеяния (b) биоткани при изменении диаметра d хаотически ориентированных цилиндрических капилляров. Здесь кривые 1 иллюстрируют данные измерений *in vitro* [1], 2 и 3 – результаты наших расчетов для случая, когда та же кровь содержится в сосудах с $d = 5$ и 20 мкм. Как видно, при $\lambda < 600$ нм имеет место значительное уменьшение параметров μ_a и μ_{eff} в условиях *in vivo*. Оно особенно заметно и может достигать 3-х и более раз в синей области спектра, где рассматриваемые показатели для крови принимают максимальные значения. Различия между кривыми 1, 2 и 3 возрастают с увеличением d . Они особенно заметны в си-

ней области спектра. Из анализа рис. 5 можно сделать важный для практики вывод: результаты экспериментов, выполненных в условиях *in vitro*, нельзя в общем случае прямо переносить на биоткань *in vivo*, в которой дисперсный материал (кровь) занимает ограниченные по пространству объемы.

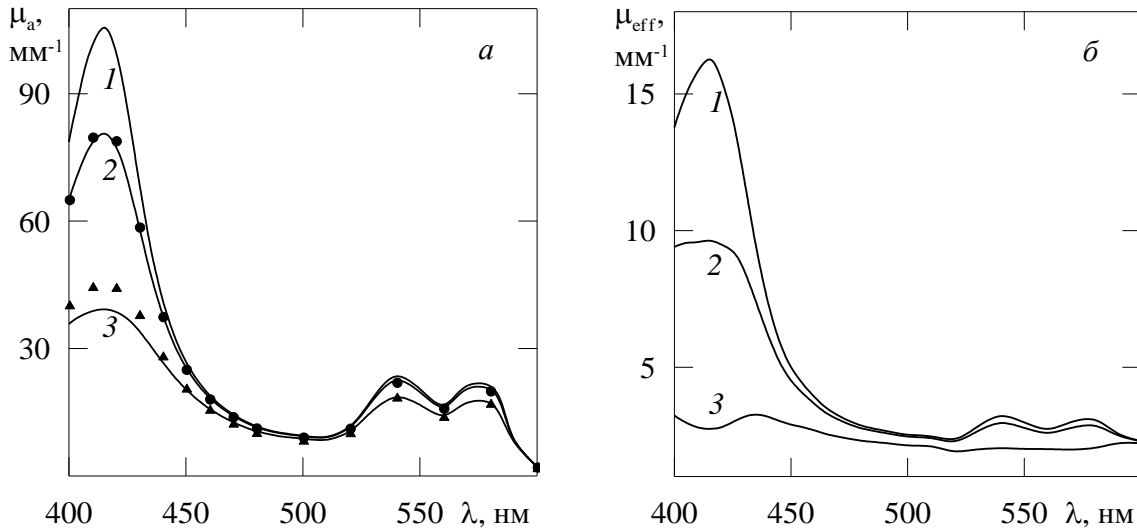


Рис. Спектры μ_a (а) и μ_{eff} (б) крови [1] (кривые 1) и ее вклада в соответствующие характеристики ткани при $d = 5$ мкм (2) и 20 мкм (3). Символы – расчет по [2]

Сделаем замечание относительно расчета показателя поглощения μ_a . В общем случае поправка, учитывающая локализованный характер кровеносных сосудов, зависит от характеристик и поглощения, и рассеяния крови. Обычно при вычислениях пренебрегают рассеянием [2]. На рис. 1, а символами показаны спектры μ_a , рассчитанные при таком допущении по аналитической методике [2] для бесконечно длинных цилиндров. Сравнение этих данных с соответствующими кривыми 2 и 3 показывает, что при малых d действительно можно пренебречь рассеянием. Однако погрешность указанного допущения растет для крупных кровеносных сосудов, особенно вблизи максимума поглощения крови.

В работе также получены данные по влиянию гематокрита цельной крови на ее показатель поглощения. Предложена аналитическая формула для учета этого фактора. Показано, что в плотноупакованной дисперсной среде может иметь место уменьшение показателя поглощения до 2 – 3 раз по сравнению с разреженной дисперсной системой. Полученные результаты могут представлять интерес для исследователей, занимающихся вопросами распространения лазерного излучения в биотканях и решением задач их неинвазивной диагностики оптическими методами.

1. Meinke M., Muller G., Helfman J., Friebel M. // Appl. Opt. 2007. V. 46, No. 10. P. 1742–1753.
2. Барун В. В., Иванов А. П. // Опт. и спектр. 2004. Т. 96, № 6. С. 1019–1024.