

УДК 535.8

БИОМЕДИЦИНСКАЯ ОПТИКА И СПЕКТРОСКОПИЯ

© 2010 г. А. Н. Башкатов, В. В. Любимов, В. В. Тучин

В этом выпуске журнала “Оптика и спектроскопия” помещены статьи, отражающие современное состояние оптических технологий, применяемых и перспективных для применения в биомедицинских исследованиях. Бурное развитие оптической биомедицинской диагностики и терапии в настоящее время обусловлено многими факторами. Во-первых, это новые результаты фундаментальных исследований по взаимодействию оптического излучения с биологическими тканями и клетками, включая поляризованное излучение, флуоресценцию в многократно рассеивающей среде и спекл-интерференционные явления. Во-вторых, это существенный прогресс в области разработки средств доставки, детектирования и визуализации оптического излучения. В-третьих, появление новых компьютерных и нанотехнологий. Все это дает возможность получения новой, ранее недоступной информации о живых объектах средствами спектроскопии и обеспечить более эффективное фотовоздействие на отдельные биологические структуры.

Оптика наночастиц и ее приложения в биомедицине представляют собой новую область нанобиотехнологии. Одной из перспективных областей применения люминесцентных полупроводниковых наночастиц, обладающих широким спектром поглощения и ярко выраженным узким пиком люминесценции в видимой части спектра, является медицинская диагностика. Поскольку длина волны флуоресценции нанокристаллов одного и того же состава строго зависит от их размеров, то изменяя размеры и состав полупроводниковых нанокристаллов, можно менять длину волны их флуоресценции от синей до инфракрасной области оптического спектра. При этом для возбуждения люминесценции нанокристаллов всех цветов достаточно одного источника излучения. Такие уникальные свойства делают нанокристаллы идеальными флуорофорами для сверхчувствительного многоцветного детектирования биологических объектов, а также медицинской диагностики, требующей регистрации многих параметров одновременно. В частности, синтезу наночастиц сульфида кадмия посвящена одна из статей данного выпуска.

Возможность генерации узкополосного высококогерентного излучения, а также широкополосного излучения с малой длиной когерентности лежит в основе методов корреляционной и доплеровской спектроскопии, лазерной интерферометрии, оптической когерентной томографии (ОКТ), а также многочисленных методов лазерной диагностики и терапии различных заболеваний. Эти методы эффективно используются для изучения динамических и структурных особенностей нормальных и патологически измененных биологических объектов. Детектирование и корреляционная обработка спекл-структур также позволяют получать диагностическую информацию о пространственно-временной организации биологических объектов. Примером наиболее важных медицинских задач, для решения которых перспективны когерентно-оптические методы, является измерение скорости диффузии воды и лекарственных препаратов в тканях человеческого организма. Исследования последних лет показали перспективность использования ОКТ для решения этой проблемы. Одна из работ выпуска посвящена измерению скорости диффузии воды в дентине зуба человека, еще в одной работе проанализированы пространственные и временные масштабы когерентности биоспеклов, формирующихся в биотканях.

Оптические методы, совмещающие спектральный и поляризационный анализ взаимодействия света с биологическими тканями, представляют значительный интерес в качестве инструмента диагностики *in vivo*, постоянно развиваются и находят все более широкое применение в биологии и медицине. Две статьи данного выпуска посвящены развитию фундаментальных основ поляризационных методов исследования.

Флуоресцентная микроскопия — один из наиболее перспективных методов исследования, позволяющий анализировать структуру и состояние белков биологических тканей. Две статьи выпуска посвящены изучению возможности применения люминесцентно-кинетической зондовой методики для исследования структурных изменений бычьего сывороточного альбумина при неферментативном термическом гликировании и исследованию процессов взаимодействия поляри-

ного и неполярного люминесцентных зондов с альбуминами сыворотки крови человека.

Важную информацию о структуре и функциях различных тканей человеческого организма дают методы спектроскопии резонансного комбинационного рассеяния. Неинвазивному исследованию содержания в коже человека каротиноидов посвящена одна из работ данного выпуска.

Знание оптических характеристик биотканей является одним из ключевых моментов при разработке математических моделей, адекватно описывающих распространение света в биотканях, что принципиально важно для развития новых оптических методов, используемых в различных областях биологии и медицины, в том числе для фотодинамической и фототермической деструкции клеток и тканей, а также для разработки новых подходов в оптической томографии, оптической биопсии и т.д. Спектрофотометрия с использованием интегрирующих сфер является одним из наиболее часто используемых методов определения оптических параметров биотканей в видимом и ближнем ИК диапазонах. Одна из работ данного выпуска посвящена измерению оптических параметров склеры глаза человека в широком диапазоне длин волн.

Фототермическое изменение оптических параметров биотканей под действие лазерного излучения является мощным методом современной лазерной медицины, позволяющим достаточно эффективно бороться с целым рядом заболеваний. Одна из работ выпуска посвящена исследованию спектров поглощения интактных эмали и дентина зуба человека в области 0,26–10 мкм. В ней обсуждается влияние водного орошения на механизм лазерной абляции и ИК спектры поглощения и сообщается о преобразованиях, наблюдаемых в спектре поглощения эмали зуба человека в диапазоне длин волн 2,5–3,5 мкм при ее нагреве до +700°C. Еще одна работа посвящена экспериментальному исследованию оптических характеристик жировой ткани *in vitro* при ее сенсibilизации красителями — индоцианином зеленым и бриллиантовым зеленым.

Интерес к использованию оптических методов для диагностики и лечения различных заболеваний постоянно возрастает в связи с их относительной простотой, достаточно низкой себестоимостью и безопасностью для пациента. Однако серьезной проблемой современной лазерной медицины продолжает оставаться транспорт зондирующего излучения через поверхностные слои биоткани. В частности, при диагностике подкожных и внутрикожных заболеваний оптическими методами значительное рассеяние излучения в видимом и ближнем ИК спектральных диапазонах тканями кожи ограничивает пространственное разрешение и глубину зондирования. Снижение светорассеяния посредством иммерсионного

просветления биотканей является одним из возможных путей решения данной проблемы. Одна из работ выпуска посвящена экспериментальному исследованию изменения оптических параметров кожи под действием водного раствора глицерина.

Надежная послынная дозиметрия зондирующего лазерного излучения требует разработки и развития новых современных методов компьютерного анализа экспериментальных данных. Кроме того, далеко не все параметры, определяющие свойства биологических объектов и характер распространения в них зондирующего лазерного излучения, могут быть непосредственно измерены экспериментально. В связи с этим все большее значение приобретает использование методов численного моделирования распространения лазерного излучения в биологических тканях. Одна из статей данного выпуска посвящена применению численных методов решения уравнения переноса излучения в рассеивающих средах. В ней построена трехмерная математическая модель взаимодействия оптического излучения с растительной тканью, учитывающая ее структурную неоднородность, спектральные свойства и эффекты флуоресценции.

Проблема эффективного устранения отравляющего действия угарного газа является весьма актуальной и социально значимой задачей. До настоящего времени возможности современной медицины остаются весьма ограниченными и поэтому потери от последствий отравлений значительны. В связи с этим в одной из статей выпуска предложен и рассмотрен оптический метод устранения отравляющего действия монооксида углерода (СО) — угарного газа, который основан на явлении лазерно индуцированной фотодеструкции карбоксигемоглобина в кровеносных сосудах и капиллярах.

Оптические методы, основанные на регистрации и анализе рассеивающих свойств дисперсных сред, находят широкое применение в исследованиях крови и ее компонентов. Эритроциты, их форма и реологические свойства — деформируемость, способность к агрегации, устойчивость к изменяющимся внешним факторам играют важную роль в процессах обмена кислорода, углекислого газа и продуктов метаболизма в тканях. Нарушение осмотического равновесия инициирует трансмембранный перенос веществ в системе клетка—окружающая среда. При этом изменяются функциональные свойства клеток и реологические свойства крови, обусловленные не только изменением химического состава внутриклеточного вещества, но и изменением формы и размеров эритроцитов. Одна из работ данного выпуска посвящена выяснению влияния изменений размеров и формы эритроцитов в гипотонических условиях на спектральные характеристики излу-

чения, рассеянного образцами разбавленной крови. На основе этих исследований проанализирована возможность разработки оптического метода определения осмотической резистентности эритроцитов, основанного на регистрации рассеянного излучения и исключающего силовое воздействие на клетки.

Процесс агглютинации (склеивания) клеток *in vitro* лежит в основе многих медицинских диагностических методик и медико-биологических исследовательских тестов. В частности, широко используемый метод исследования — определение группы крови — базируется именно на таком подходе. Однако данная методика, к сожалению, не свободна от некоторых недостатков и сложностей, в силу чего две статьи выпуска посвящены экспериментальному и теоретическому изучению возможности повышения разрешающей способности данного метода.

Представленные в выпуске работы были доложены на XIII ежегодной международной междисциплинарной школе для молодых ученых и студентов по оптике, лазерной физике и биофотонике, проходившей в Саратове с 21 по 24 сентября

2009 г., в которой приняли участие около 500 студентов, аспирантов и молодых исследователей, а также лекторов, из 35 стран мира. Часть работ, представленных на Школе, опубликована также в сборнике трудов “Проблемы оптической физики и биофотоники” / Под. ред. В.В. Тучина, Г.В. Симоненко // Изд-во “Новый ветер”, Саратов, 2009; *Proc. SPIE*, Vol. 7547 // Eds. E.A. Genina, V.V. Tuchin; *Journal of Innovative Optical Health Sciences*. Vol. 3. 2010 // Eds. E.A. Genina, K.V. Larin, V.V. Tuchin; *Journal of Biophotonics*. Vol. 3. 2010 // Eds. E.A. Genina, V.V. Tuchin.

Редакторы этого выпуска приносят глубокую благодарность всем авторам и надеются, что все статьи выпуска будут интересны широкому кругу читателей журнала.

Следующая, XIV ежегодная международная междисциплинарная школа для молодых ученых и студентов по оптике, лазерной физике и биофотонике будет проходить в Саратове с 5 по 8 октября 2010. От имени Оргкомитета конференции мы приглашаем всех желающих принять участие в работе Школы.