

2. Guo X., Wood M.F.G., Vitkin A. Stokes polarimetry in multiply scattering chiral media: effects of experimental geometry // J. Applied optics. – 2007. – V. 46. – №.20. – P. 4491–4500.
3. Wood M.F.G., Guo X., Vitkin A. Polarized light propagation in multiply scattering media exhibiting both linear birefringence and optical activity: Monte Carlo model and experimental methodology // J. Journal of Biomedical Optics. – 2007. – V. 12. – № 1. – P. 1–10.
4. Kafidova G.A., Aksenov E.T. and Petrov V.M. Measurement of glucose concentration in turbid media by the polarization state of backscattered laser light // Medical Laser Applications and Laser-Tissue Interactions VI, L.D. Lilge, R. Sroka, Ed. // Proc. SPIE. – 2013. – V. 8803. – P. 880306.

УДК 577.3

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОДЕРЖАНИЯ МЕЛАНИНА В КОЖЕ НА РЕГИСТРИРУЕМЫЕ МЕТОДОМ ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ПАРАМЕТРЫ

**В.В. Дрёмин**

(Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс, Орел)

**Научный руководитель – к.т.н., доцент А.В. Дунаев**

(Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс, Орел)

За последнее десятилетие оптическая спектроскопия быстро превратилась в качественный инструмент для диагностики и определения характеристик биотканей человека. Биологическая ткань состоит из молекул-хромофоров с конкретными биофизическими свойствами. Эти свойства могут быть изучены неинвазивно и в естественных условиях с использованием различных оптических методов, таких как спектроскопия диффузного отражения, комбинационного рассеяния, флуоресцентная спектроскопия и др. Так, метод флуоресцентной спектроскопии (ФС) все более широко используется в химии, биологии, в различных областях медицины. ФС обладает высокой чувствительностью и обеспечивает уникальные возможности для изучения возбужденных состояний молекул, фотохимических реакций, динамики быстрых молекулярных процессов, структур и свойств сложных биохимических и клеточных систем. Высокая специфичность и чувствительность ФС были показаны в дифференциальной диагностике дисплазии, аденомы и аденокарциномы. Метод является эффективным прежде всего в таких областях медицины, как онкология, трансплантация, косметология и хирургия. Флуоресцентная спектроскопия основана на возбуждении флуоресценции эндогенных и экзогенных флуорофоров ткани и записи излучения в видимой области спектра. Регистрация флуоресценции является надежным методом для дифференцирования доброкачественных и злокачественных опухолей различного происхождения. Данный метод имеет несколько преимуществ по сравнению с традиционными диагностическими технологиями. Как известно, поражения кожи, слизистых оболочек полости рта, желудочно-кишечного тракта и мочеполовой системы имеют ряд конкретных автофлуоресцентных спектров. Многие гнойные раны, ожоги и другие разрушительные воспалительные процессы сопровождаются изменениями флуоресценции тканей, которые происходят из-за дисбаланса в накоплениях природных флуорофоров: FAD, NADH, липофусцина, порфиринов, структурных белков и т.д. ФС также используется в качестве инструмента для мониторинга динамики различных процессов, происходящих в тканях, во время лучевой терапии и т.д.

Вместе с тем, на сегодняшний день применение ФС ограничено из-за нескольких нерешенных проблем. Одной из таких проблем является влияние на сигнал флуоресценции таких хромофоров биоткани как меланин, гемоглобин и оксигемоглобин. В связи с этим, **целью работы** явилось оценить и проанализировать влияние содержания кожного меланина

на регистрируемые параметры в методе флуоресцентной спектроскопии.

Для экспериментальных исследований использовали многофункциональный лазерный неинвазивный диагностический комплекс (МЛНДК) «ЛАКК-М» (НПП «Лазма», Москва). Данный МЛНДК предназначен для исследования состояния биологической ткани путем одновременного использования неинвазивных методов диагностики: лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ), оптической тканевой оксиметрии (ОТО), пульсоксиметрии и ФС. В данных исследованиях анализировались данные канала ФС. Возбуждение эндогенной флуоресценции осуществлялось УФ (365 нм), зеленой (532 нм) и красной (637 нм) длинами волн. Тестовые экспериментальные исследования проводились с участием восьми условно здоровых добровольцев. Было исследовано влияние меланина на различных этнических типах кожи, включая европейский (3 добровольца,  $m=3$ ), индийский ( $m=1$ ), арабский ( $m=1$ ) и африканский ( $m=3$ ). В зависимости от него, процентное содержание меланина в базальном слое эпидермиса кожи человека может изменяться от 1,5% до 43%. Измерения проводились в двух точках биоткани: на коже подушечки среднего пальца правой руки – слабо пигментированная область для всех добровольцев, и на предплечье в зоне с выраженными различиями в содержании меланина относительного каждого типа кожи. Все измерения выполнялись в рабочие дни, преимущественно в первой половине дня, доброволец находился в покое. Измерительное волокно устанавливалось в одно и то же место, без оказания какого-либо давления, отсутствовали засветки и прочие факторы, из-за которых возможны погрешности результатов измерений в ФС.

Анализируемые параметры (интенсивности флуоресценции NADH, FAD, показатель тканевого кислородного метаболизма – редокс-соотношение) были усреднены за весь период исследования, вычислено среднее арифметическое и среднеквадратическое отклонение.

В группе европейцев (200 измерений,  $n=200$ ) при измерениях на коже подушечки пальца интенсивность флуоресценции NADH, FAD и редокс-соотношение соответственно составили  $175,2 \pm 48,9$  отн. ед.,  $49,2 \pm 11,8$  отн. ед.,  $3,6 \pm 0,3$ . Для индийского типа ( $n=27$ ) –  $77,0 \pm 22,3$  отн. ед.,  $25,2 \pm 6,6$  отн. ед.,  $3,1 \pm 0,5$ . Соответственно для арабов ( $n=13$ ) –  $99,3 \pm 47,7$  отн. ед.,  $31,5 \pm 12,6$  отн. ед.,  $3,1 \pm 0,3$ , а для африканцев ( $n=3$ ) –  $60,4 \pm 30,5$  отн. ед.,  $22,3 \pm 17,5$  отн. ед.,  $2,7 \pm 0,4$ .

При проведении измерений в области предплечья у европейцев ( $n=200$ ) те же параметры составили  $57,1 \pm 11,8$  отн. ед.,  $21,3 \pm 3,3$  отн. ед.,  $2,7 \pm 0,2$ . Для индийского типа ( $n=27$ ) –  $35,9 \pm 14,2$  отн. ед.,  $15,4 \pm 5,1$  отн. ед.,  $2,3 \pm 0,5$ . Для арабов ( $n=13$ ) –  $14,9 \pm 3,9$  отн. ед.,  $8,9 \pm 2,5$  отн. ед.,  $1,7 \pm 0,4$ . Для африканцев же ( $n=3$ ) сигнал флуоресценции находился в пределах 0.

Предварительные результаты исследований показали, что сигнал флуоресценции сильно зависит от типа кожи. Статистически значимые различия были подтверждены по критерию Манна-Уитни. Так, для сильно пигментированного участка (кожа предплечья) сигнал флуоресценции при возбуждении УФ излучением практически отсутствует, а редокс-соотношение становится фактически незначимым параметром. Данные, полученные в отдельном исследовании на темнокожей женщине 25 лет, показывают, что флуоресценция в УФ и зеленых длинах волн возбуждения отсутствует, что подтверждает тот факт, что меланин является сильным ослабителем флуоресценции в видимом диапазоне излучений. Для красной длины волны возбуждения флуоресценция регистрировалась более выраженной, чем в первых двух случаях возбуждения.

В настоящее время, красный диапазон спектра излучения преимущественно используется только для возбуждения флуоресценции порфиринов. Предполагается, что на большей длине волны (от ближнего ИК диапазона и выше) можно будет зарегистрировать значительно выраженную флуоресценцию меланина. Сигнал флуоресценции, возбужденный в красной области спектра, может быть особенно полезным для неинвазивной диагностики патологий, таких как злокачественная меланома, которую трудно отличить от других пигментных поражений кожи с использованием УФ и видимого возбуждения. В

подтверждение этому, последние результаты многофотонной спектроскопии (780–820 нм) выявили существенные различия в флуоресценции эу- и феомеланина в нормальных тканях и пораженных меланомой.

Также стоит отметить, что в настоящее время одной из проблем метода ФС является учет потерь интенсивности возбуждающего излучения, что в конечном итоге затрудняет калибровку данного типа диагностических комплексов, а именно установлению зависимости между показаниями прибора и размером измеряемой величины. Учет влияния меланина потенциально можно использовать как средство для калибровки сигнала флуоресценции. Это может быть реализовано совмещением показаний нескольких каналов данного комплекса (ФС+ЛДФ), а также разработкой новых диагностических параметров с коэффициентами, учитывающими отличия оптических свойств поглощения по каждому меланину.

УДК 53.082.79

## **НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЯ ЖИДКИХ, ВЯЗКИХ И СЫПУЧИХ СРЕД ЯДЕРНО-МАГНИТНЫМ СПЕКТРОМЕТРОМ**

**А.Ю. Карсеев**

(Санкт-Петербургский государственный политехнический университет)

**Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент В.В. Давыдов**

(Санкт-Петербургский государственный политехнический университет)

В настоящее время в нашей стране, в условиях непрекращающегося экономического кризиса существует устойчивая тенденция по снижению затрат на производство продукции, что мгновенно отражается на ее качестве, а также структурном составе. Причем незначительные нарушения технологии производства, а также умышленное введение дополнительных ингредиентов в продукцию, которые позволяют сохранить цвет, запах и т.д. невозможно определить визуально. Для подробного анализа требуется множество приборов и химических компонентов (передвижная мобильная лаборатория), особенно если исследуется жидкая среда (например, бензин, молоко или пиво). Так как для каждой жидкой среды требуются свои химические тесты, отслеживать такую продукцию очень сложно по причине огромной стоимости мобильных лабораторий [1, 2].

Кроме того, наблюдается постоянное ухудшение экологического состояния водных объектов. Происходит их загрязнение продуктами человеческой деятельности. Чтобы не допустить возникновения опаснейших ситуации для людей и массовой гибели морских и речных обитателей, необходим постоянный контроль состояния водной поверхности и побережья [3]. Своевременное выявление очагов загрязнения, позволяет вовремя провести комплекс мер по очистке, как побережья, так и воды, чтобы предотвратить более серьезную экологическую катастрофу [2–4].

Одним – наиболее эффективным решением этих сложнейших проблем является малогабаритный ядерно-магнитный спектрометр [1–4]. Но в связи постоянным расширением спектра загрязняющих веществ и образования в средах различных сложных химических соединений, возникла необходимость, как в улучшение его точностных характеристик, так и увеличения динамического диапазона измерений  $T_1$  и  $T_2$ . Кроме того, проведенные испытания показали, что не всегда можно, особенно в полевых условиях применять полноценный компьютер (ноутбук) и провести подключения к нему от измерительной части прибора для определения  $T_1$  и  $T_2$  с последующим сохранением информации.

Более предпочтительным в такой ситуации является определение  $T_1$  и  $T_2$  в самой конструкции малогабаритного прибора с выводом информации на ЖК дисплей, которая в дальнейшем заносится в портативный компьютер (планшет). При проведении экологического мониторинга с помощью системы GPS осуществляется координатная привязка