

Через 24 часа после интраназального введения МСК наблюдали распределение имплантированных стволовых клеток в структурах обонятельных луковиц ( $31 \pm 3$  клеток на  $0,1 \text{ мм}^2$ ) и участках деструкции RSA/RSG зоны ( $15 \pm 2$  клеток на  $0,1 \text{ мм}^2$ ). При этом количество МСК в области травмы RSA/RSG зоны было ниже, чем в случае локализации повреждения в сенсомоторной зоне головного мозга, но выше по сравнению с числом флуоресцирующих клеток в очаге деструкции коры мозжечка.

**Заключение.**

Мезенхимальные стволовые клетки после имплантации в подслизистую область полости носа крыс перемещаются вдоль волокон *n. olfactorius* в центральные структуры обонятельного анализатора и распределяются в области разрушения сенсомоторной зоны или RSA/RSG зоны головного мозга. При этом в деструктивном участке прецентральной извилины наблюдали большую плотность флуоресцирующих клеток, чем в области повреждения ретроспленальной гранулярной или агранулярной зон коры головного мозга и тем более в зоне травмы коры мозжечка. Следовательно, полученные данные отражают закономерность распределения МСК после имплантации в периферические отделы обонятельного анализатора в тех участках головного мозга, которые расположены вблизи центральных отделов этого анализатора (соматотопический принцип).

### **Литература**

1. Flanagan S.R. Invited Commentary on “Centers for Disease Control and Prevention Report to Congress: Traumatic Brain Injury in the United States: Epidemiology and Rehabilitation” // Arch. Phys. Med. Rehabil. 2015. Vol. 96. P. 1753–1755.
2. Huang S., Xu L., Sun Y., Lin S., Gu W., Liu Y., Zhang J., Chen L., Li G. Systemic Administration of Allogeneic Mesenchymal Stem Cells Does Not Halt Osteoporotic Bone Loss in Ovariectomized Rats. // PLoS One. 2016. Vol. 11, No 10. P. e0163131. doi: 10.1371/journal.pone.0163131.
3. Donega V., Nijboer C.H., van Velthoven C.T., Youssef S.A., de Bruin A., van Bel F., Kavelaars A., Heijnen C.J. Assessment of long-term safety and efficacy of intranasal mesenchymal stem cell treatment for neonatal brain injury in the mouse. // *Pediatr. Res.* 2015. Vol. 78, No 5. P. 520-526. doi: 10.1038/pr.2015.145.

## **МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ В УЛЬТРАФИОЛЕТОВОМ ДИАПАЗОНЕ СПЕКТРА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

**В.А. Дзугунович<sup>1</sup>, Е.В. Луценко<sup>1</sup>, С.В. Никоненко<sup>1</sup>, О.Б. Тарасова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Государственное научное учреждение «Институт физики имени Б.И.Степанова Национальной академии наук Беларуси» 220072 г. Минск, пр. Независимости, 68.

<sup>2</sup>Республиканское унитарное предприятие «Белорусский государственный институт метрологии», 220053, Беларусь, Минск, Старовиленский тр., 93

В работе рассматриваются проблемы обеспечения единства измерений радиационных характеристик излучения в ультрафиолетовом диапазоне спектра. Описано современное состояние метрологического обеспечения измерений в Республике Беларусь в ультрафиолетовом диапазоне спектра и перспективы его развития.

**Введение.**

Ультрафиолетовое (УФ) излучение является высоко биологически активным. Инактивация, денатурация и коагуляция белков; фотолиз, фотооксидация, фотосинтез; фотоизомеризация, эритема, терморегуляция и другие механизмы воздействия на живые организмы, обусловленные УФ излучением, оказывает существенное влияние на процессы, протекающие в живом организме, и, соответственно, на функциональное состояние конкретного живого организма как в целом, так и на состояние его отдельных органов и систем. В медицинской практике широко используются лечебные свойства УФ излучения:

противовоспалительное, бактерицидное, болеутоляющее, эпителизирующее и регенерирующее, стимулирующее реакции иммунитета, десенсибилизирующее и регулирующее витаминный «Д», «С» баланс и обменные процессы. Источники УФ излучения эффективно используются в терапии различных воспалительных процессов, кожных заболеваний, ожогов и отморожений, трофических язв и рахита, заболеваний опорно-двигательного аппарата, инфекционных, стоматологических заболеваний и невралгии, для повышения стойкости и выносливости организма и др. В последние годы наблюдается интенсивный рост применения в различных системах обеззараживания в пищевой промышленности. Вместе с тем воздействие УФ излучения на человека может быть крайне опасным, вызывать повреждение ДНК и раковые заболевания, подавлять иммунитет. При этом относительные отличия в уровне мощности, длительности и спектральном распределении мощности УФ излучения при полезном и отрицательном, а часто и фатальном воздействии УФ излучения, могут не превышать единиц процентов [1, 2]. Поэтому крайне важна точность определения оптических характеристик УФ излучения, особенно при решении вопросов обеспечения безопасности работ, связанных с его использованием. Кроме того, существенной проблемой является деградация оптических характеристик излучения всех используемых типов источников УФ излучения, что обуславливает необходимость их периодического контроля. Таким образом, эффективность, качество и безопасность работ, выполняемых с использованием УФ излучения, в значительной мере определяется качеством их метрологического обеспечения.

Проблемы обеспечения единства измерений оптических величин в УФ диапазоне спектра.

Совершенствование эталонной, измерительной и методической базы для УФ диапазона спектра является одной из наиболее актуальных задач для оптической радиометрии, так как в обеспечении единства измерений в этой области имеется ряд существенных проблем.

Во-первых, актуальной является проблема передачи размеров единиц в диапазонах УФ излучения, нормированных Международной комиссией по освещению (CIE) как: CIE A (от 400 до 315 нм), CIE B (от 315 до 285 нм) и CIE C (от 285 до 200 нм), от национальных эталонов единиц спектрорадиометрических и радиометрических величин (спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ), спектральной плотности энергетической освещенности (СПЭО) и спектральной плотности силы излучения (СПСИ); энергетической яркости и освещенности, силы излучения) до рабочих средств измерений. Так, на уровне национальных эталонов в ведущих национальных метрологических центрах (НМЦ) РТВ (Германия), NPL (Великобритания), NIST (США), ВНИИОФИ (Россия) воспроизводимость спектрорадиометрических шкал единиц СПЭО и СПЭЯ в спектральном диапазоне от 200 до 400 нм обеспечивается с достаточно высокой точностью, суммарная стандартная относительная неопределенность воспроизведения размера единиц составляет порядка 1 %. На уровне вторичных эталонов суммарная стандартная относительная неопределенность калибровки по СПЭО, создаваемой, например кварцево-галогенной лампой, возрастает и составляет от 1,7 % на длине волны 400 нм до 3,5 % на длине волны 250 нм. А для рабочих средства измерений неопределенность калибровки ухудшается до 5,0 % и до 10,0 % на длинах волн 400 и 250 нм соответственно. Снижение точности передачи размера единиц связано с тем, что в первичных эталонах используются: либо абсолютный криогенный радиометр и УФ лазеры; либо синхротронное излучения или излучение модели высокотемпературного черного тела, а в качестве вторичных эталонов в основном используются лампы: дейтериевые, кварцево-галогенные, ртутные и ксеноновые. Для обеспечения высокой точности измерений на уровне вторичных эталонов и эталонов более низкого ранга для УФ излучения диапазонов CIE A, B, C необходимы стандартизованные эталонные (референсные) источники излучения, обеспечивающие относительно

равномерное, высокостабильное и равномерное спектральное распределение мощности излучения во всем спектральном диапазоне и имеющие достаточно высокую мощность излучения, которые в настоящее время отсутствуют.

Во-вторых, отсутствуют общепризнанные рекомендации по унификации эксплуатационных характеристик применяемых в обычной метрологической практике, эталонных (референсных) источников излучения: дейтериевых, кварцево-галогенных, ксеноновых и ртутных ламп. Для каждого из этих типов ламп свойственны свои недостатки и преимущества. Так дейтериевые лампы имеют относительно высокую стабильность излучения (не хуже 0,5 % за 8 ч работы) и относительно «гладкое» спектральное распределение мощности излучения в УФ диапазоне. К их основным недостаткам следует отнести: малый межкалибровочный интервал (не более 50 ч), небольшое время жизни (до 1000 ч) и низкий уровень создаваемой СПЭО (не более  $1 \cdot 10^8$  Вт·м<sup>-3</sup>). В отличие от дейтериевых, ксеноновые лампы обеспечивают уровень освещенности как минимум на порядок выше, но имеют невысокую стабильность (не лучше 3 %) и неравномерное спектральное распределение излучения. Кварцево-галогенные лампы имеют высокую стабильность излучения и относительно «гладкое» спектральное распределение мощности излучения (в диапазоне от 250 до 400 нм), но уровень СПЭО не превышает обычно  $10^5$  Вт·м<sup>-3</sup> и  $10^7$  Вт·м<sup>-3</sup> на длинах волн 250 и 400 нм соответственно. Излучение ртутных ламп характеризуется наличием нескольких узких спектральных линий в УФ диапазоне спектра и нестабильностью излучения. Поэтому измерения с их использованием можно проводить фактически только на определенных длинах волн. Кроме того, общим недостатком при использовании в калибровочных процедурах ламп является то, что при калибровке в диапазонах СИЕ А, В и С необходимо использовать приемник с постоянной спектральной чувствительностью в пределах этих диапазонов и нулевой вне их, что весьма проблематично из-за отсутствия качественных фильтров для УФ области спектра.

В-третьих, на точность результатов измерения оптических характеристик УФ излучения, большое влияние оказывает отличие спектральных распределений мощности излучения испытуемого и эталонного (референсного) источников излучения. Результаты исследований этого спектрального фактора в NIST [3] показали, что при калибровке двух одинаковых УФ радиометров с помощью эталонных (референсных) источников излучения разных типов (дейтериевой, кварцево-галогенной, ксеноновой и ртутной лампам) их показания отличаются от 2,7 до 61,7 %. В случае разных измерительных приборов, прокалиброванных по разным источникам излучения, отличия могут составлять сотни процентов (более 350 %).

В-четвертых, в последнее время появились компактные долговечные твердотельные источники излучения – УФ лазерные диоды (ЛД) и светодиоды (СИД), которые характеризуются более высокими уровнями мощности излучения (более  $1 \cdot 10^9$  Вт·м<sup>-3</sup>) и высокой стабильностью излучения. Это позволяет прогнозировать замену уже в ближайшие 5 лет во многих медицинских приложениях традиционных ламповых источников на ЛД и СИД.

Таким образом, используемые ламповые источники УФ излучения не обеспечивают необходимый уровень точности при проведении калибровочных работ средств измерений и источников излучения в УФ диапазонах спектра СИЕ А, В и С и для повышения точности метрологических работ требуется создание новых типов эталонных (референсных) источников излучения. Для решения этой проблемы в СИЕ в 2016 г. создан новый технический комитет ТК 2-87, основной целью которого является подготовка рекомендаций по методам характеристики и калибровке широкополосных УФ радиометров в спектральных диапазонах СИЕ А и В для промышленных применений. Основным способом реализации этой цели станет стандартизация требований к референсному

твердотельному источнику излучения и стандартизация процедуры его применения при калибровке радиометров [4].

Состояние метрологического обеспечения измерений радиационных характеристик излучения в УФ диапазоне спектра в Республике Беларусь.

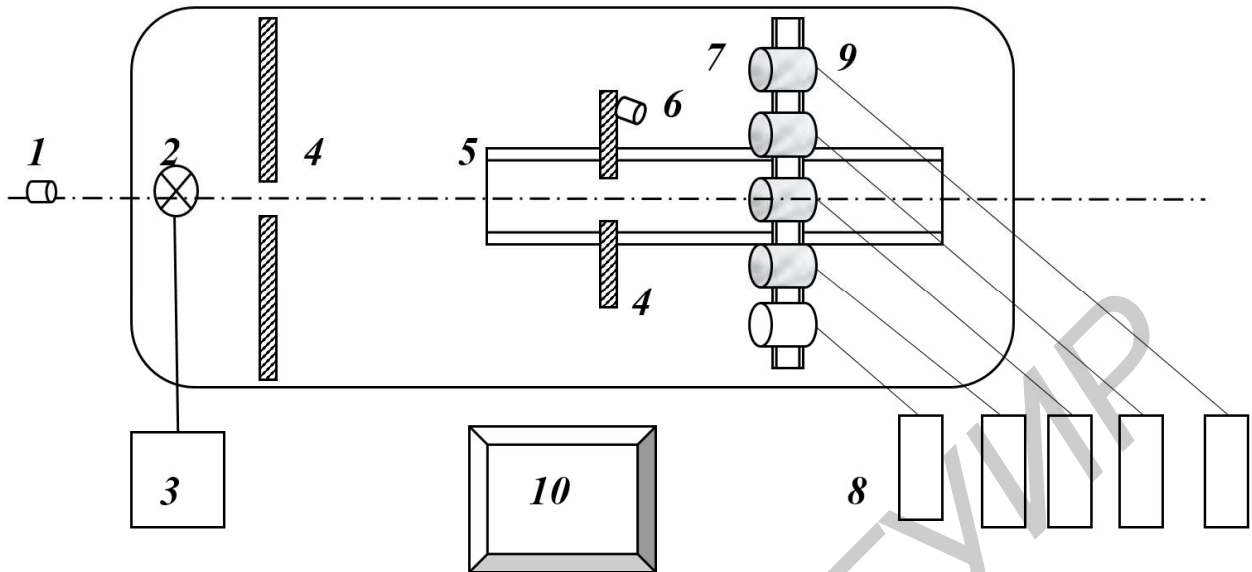
Система обеспечения единства измерений спектрорадиометрических и радиометрических характеристик излучения в УФ диапазоне спектра в Беларуси носит фрагментарный характер и фактически не соответствует современному уровню развития техники и применяемым технологиям в медицине и санитарии. В Беларуси только в Белорусском государственном институте метрологии (БелГИМ) и в Институте физики НАН Беларуси имеются метрологические установки, на которых можно проводить аттестацию приборов и источников излучения, работающих в УФ диапазоне спектра.

Установка для поверки радиометров УПР в БелГИМ предназначена для поверки радиометров, работающих в УФ диапазонах СИЕ А, В и С, а также в видимом (от 360 до 780 нм) и инфракрасном (ИК) (от 800 до 20000 нм) диапазонах спектра. Структурная схема установки приведена на рисунке 1.

Установка УПР функционирует следующим образом. В начале устанавливается источник излучения 2 (для УФ диапазона это дейтериевая лампа) (рисунок 1). Затем на соответствующие держатели, размещенные на платформе перемещения 7, устанавливаются эталонный и испытуемый приемники оптического излучения. После чего приемники излучения юстируются с помощью целеуказателя 1. Необходимое расстояние между источником и приемниками излучения устанавливается посредством смещения платформы перемещения 5. Измерения проводятся с использованием метода замещения.

Установка УПР позволяет обеспечить поверку радиометров в УФ диапазоне СИЕ А от 10 до 20000 мВт/м<sup>2</sup>, в УФ диапазоне СИЕ В и С от 1 до 200 мВт/м<sup>2</sup>, в видимом диапазоне от 1 до 206 Вт/м<sup>2</sup> и ИК диапазоне от 1 до 206 Вт/м<sup>2</sup>. Погрешность измерений в УФ диапазоне СИЕ А, в видимом и ИК диапазонах не хуже  $\pm 12\%$ . Погрешность измерений в УФ диапазонах СИЕ В и С не хуже  $\pm 20\%$ . Диапазон продольного смещения приемников излучения – 340 мм, а поперечного смещения – 200 мм.

В центре испытаний лазерной техники Института физики НАН Беларуси, аккредитованного как калибровочная и испытательная лаборатория, был разработан и создан комплекс «Лямбда УФ» для измерений оптических характеристик твердотельных источников излучения в спектральном диапазоне от 250 до 900 нм. Подробно работа комплекса «Лямбда УФ» описана в [5], поэтому здесь приведем только его основные технические и метрологические характеристики: диапазон измерений силы света и усредненной силы света от 0,01 до 60 кд, относительная расширенная неопределенность измерений не более 2,0 %; диапазон воспроизведения угла поворота поворотных площадок в горизонтальной плоскости  $\pm 110^\circ$  и в вертикальной плоскости  $360^\circ$ ; диапазон измерений мощности лазерного излучения (ЛИ) в спектральном диапазоне от 250 до 900 нм от  $3 \cdot 10^{-7}$  Вт до  $10^{-1}$  Вт, относительная расширенная неопределенность измерений мощности ЛИ не более 2,0 %; относительная расширенная неопределенность измерений пространственного распределения силы света не более 1,04 %; относительная расширенная неопределенность измерений пространственного распределения плотности мощности ЛИ в диапазоне от 300 нВт до 300 мВт не более 9,2 %; относительная расширенная неопределенность измерений СПЭО, создаваемой СИД в диапазоне от  $10^2$  до  $10^{10}$  Вт·м<sup>3</sup> в спектральном диапазоне от 250 до 400 нм, не более 5,4 %, в диапазоне от 400 до 500 нм – не более 8,0 % и в диапазоне от 500 до 900 нм – не более 5,6 %; относительная расширенная неопределенность измерений СПЭЯ излучения СИД в спектральном диапазоне от 250 до 500 нм в диапазоне от  $10^2$  до  $10^{12}$  Вт·м<sup>3</sup>·ср<sup>-1</sup> не более 7,0 %.



1 – лазерный целеуказатель; 2 – источник излучения; 3 – блок питания источника излучения; 4 – диафрагмы; 5 – передвижная автоматизированная платформа 8MT295-340-2,5; 6 – видеокамера; 7 – передвижная автоматизированная платформа 8MT175; 8 – эталонные приемники оптического излучения в держателе; 9 – испытуемый приемник оптического излучения; 10 – персональный компьютер  
Рисунок 1 – Структурная схема установки УПР

Имеющиеся возможности аттестации техники, работающей в УФ диапазоне спектра, недостаточно, поэтому многие производители спектральной и оптической техники (БелОМО, ОАО Пеленг, ПО «Горизонт», Рогачевский завод «Диaproектор», ЗАО «Солар ЛС» и др.) вынуждены обращаться за пределы страны за соответствующими метрологическими услугами и в первую очередь во ВНИИОФИ (Россия).

Развитие национальной эталонной и испытательной базы метрологического обеспечения измерений в УФ диапазоне спектра.

Для обеспечения единства измерений и соответствующего метрологического обеспечения техники и измерений в УФ диапазоне спектра необходимо создание национальной эталонной базы. Такие работы в Беларуси начаты и ведутся по заданию «Создать национальный эталон единиц спектральной плотности энергетической яркости, спектральной плотности энергетической освещенности и силы излучения в диапазоне длин волн от 0,2 до 3,0 мкм» в рамках подпрограммы «Эталон Беларуси» государственной научно-технической программы «Эталон и научные приборы» на 2016-2020 гг. Планируется, что эталон обеспечит воспроизведение размеров единиц СПЭЯ, СПЭО и силы излучения в спектральном диапазоне длин волн от 0,2 до 2,5 мкм в диапазонах: спектральной плотности энергетической яркости от  $1 \cdot 10^7$  до  $1 \cdot 10^{12}$  Вт·ср<sup>-1</sup>·м<sup>-3</sup>; спектральной плотности энергетической освещенности от  $1 \cdot 10^2$  до  $1 \cdot 10^{10}$  Вт·м<sup>-3</sup> и силы излучения от 3,5 до  $1 \cdot 10^2$  Вт·ср<sup>-1</sup>. Эталон будет основан на модели черного тела ВВ3500М с регулируемой температурой от 1500 К до 3200 К. Эффективность от внедрения эталона будет обусловлена: объединением эталонных средств и соответствующих поверочных схем в единый радиометрический эталон с оптимизацией количества звеньев поверочной схемы, а также созданием системы метрологического обеспечения измерений основных радиометрических и спектрорадиометрических характеристик как источников, так и приемников оптического излучения, в том числе и в УФ диапазоне спектра.

С целью совершенствования испытательной базы источников УФ излучения с 2016 г. начаты работы по заданию «Разработать и изготовить установку для испытания источников ультрафиолетового излучения («УФ Источник»)» подпрограммы «Уникальное научное оборудование» ГНТП «Эталоны и научные приборы». Установка будет создана на базе референсных твердотельных источников излучения (СИД и ЛД), созданных с использованием полученных ранее патентов [6, 7], и ламповых источников излучения в УФ области спектра в диапазонах СИЕ А, В и С. Планируется, что установка будет обеспечивать измерение СПЭО в УФ диапазонах СИЕ А, В и С в диапазоне измерений СПЭО от  $1 \cdot 10^3$  до  $1 \cdot 10^8 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-3}$  с относительной стандартной неопределенностью измерений СПЭО не более 4,5 %. Эффективность от внедрения установки будет обусловлена совершенствованием системы метрологического обеспечения и повышением точности измерений СПЭО и энергетической освещенности, создаваемых УФ источниками излучения в спектральных диапазонах СИЕ А, В и С.

**Заключение.**

Таким образом, при измерениях оптических характеристик излучения в УФ диапазоне спектра существует ряд проблем, обусловленных, главным образом, отсутствием стандартизованных эталонных (референсных) источников излучения, обеспечивающих высокостабильное и относительно равномерное спектральное распределение мощности излучения во всем спектральном диапазоне и имеющих достаточно высокую мощность излучения. В Беларуси система обеспечения единства измерений спектрорадиометрических и радиометрических характеристик излучения в УФ диапазоне спектра носит фрагментарный характер и фактически не соответствует современному уровню развития техники и технологиям, применяемым в медицине и санитарии. Для решения этих проблем и соответственно повышения качества метрологического обеспечения измерений в УФ диапазоне спектра в Беларуси создается Национальный эталон единиц спектральной плотности энергетической яркости, спектральной плотности энергетической освещенности и силы излучения в диапазоне длин волн от 0,2 до 3,0 мкм и установка для испытаний источников ультрафиолетового излучения в диапазонах СИЕ А, В и С.

#### *Литература*

1. Бадтисев А.К. Влияние ультрафиолетового излучения средневолнового диапазона на эмбриональное развитие амфибий / Автореферат диссертации. М. – 2009 – 23 с.
2. Потапенко, А.Я. Ультрафиолетовое излучение Солнца и здоровье человека. / А.Я. Потапенко // Соросовский образовательный журнал, – 2004. – № 3. – С. 1 – 9.
3. Eppeldauer, G.P. Standardization of broad-band UV measurements for 365 nm LED sources / G.P. Eppeldauer/ J. Res. NIST, – 2012. – Vol. 117. – №1. – P. 96 – 103.
4. Eppeldauer, G.P. Broadband Radiometric LED Measurements / G.P. Eppeldauer [et al] // Proc. of SPIE, – 2016. – Vol. 9954. – P. 99540J-01 – 99540J-15.
5. Nikanenka S.V. A practical method for determination of averaged spectral radiance of UV LED / S.V. Nikanenka et al. // 28th Session of the CIE: Proc. 28th Session of the CIE, Manchester, United Kingdom, June 28 – July 4, 2015. CIE 216:2015. Vol. 1. Part 1. P. 1396 – 1400.
6. Эталонный монохромный светодиод: пат. 8354 Республика Беларусь: МПК G 01 J1/00 / Данильчик А. В., Луценко Е.В., Никоненко С.В.; заявитель и патентообладатель Гос. науч. учреж. «Ин-т физики Национальной академии наук Беларуси». – № u20111007; заявл. 09.12.2011; опубл.30.06.12., Бюл. № 3 – с. 258.
7. Эталонный источник излучения на основе белого светодиода: пат. 115890 Российская Федерация: МПК G 01 J1/00 / Данильчик А. В., Луценко Е.В., Никоненко С.В.; заявитель и патентообладатель Гос. науч. учреж. «Ин-т физики Национальной академии наук Беларуси». – № 201202529/28; заявл. 25.01.2012; опубл.10.05.12., Бюл. № 13 – с. 263.