УДК 614.5:644.36

СИНИЙ СВЕТ СВЕТОДИОДОВ – НОВАЯ ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА

В.А. Капцов[1], В.Н. Дейнего[2]

[1]ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожной гигиены» Роспотребнадзора, Россия, 125438, г. Москва, Пакгаузное шоссе, 1, корп. 1
[2]ООО «Новые энергетические технологии», Россия, 143025, Московская область, Одинцовский район, дер. Сколково, ул. Новая, 100

Рассмотрены условия формирования избыточной дозы синего света при светодиодном освещении. Показано, что оценки светобиологической безопасности, проводимые по ГОСТ Р МЭК 62471-2013, нуждаются в уточнении с учетом изменения диаметров зрачка глаза при светодиодном освещении и пространственного распределения светопоглощающего синий свет (460 нм) пигмента в желтом пятне. Приведены методические принципы расчета избыточной дозы синего света в спектре светодиодного освещения относительно солнечного света. Указано, что сегодня в США и Японии изменилась концепция светодиодного освещения и разработаны светодиоды белого света, минимизирующие риски нарушения здоровья человека. В частности, в США это концепция распространяется не только на общее освещение, но и на мониторы и автомобильные фары.

Ключевык слова: *светодиоды, избыточная доза синего в спектре искуственных источников белого света, фотобиологическая безопасность, национальная безопасность.*

В настоящее время директивно внедряется светодиодное освещение в школы, детские сады и медицинские учреждения. Для оценки светобиологической безопасности светодиодных светильников используется ГОСТ Р МЭК 62471-2013 «Лампы и ламповые системы. Светобиологическая безопасность», подготовленный Государственным унитарным предприятием Республики Мордовия «Научно-исследовательский институт источников света имени А.Н. Лодыгина» (ГУП Республики Мордовия НИИИС им. А.Н. Лодыгина) на основе *собственного аутентичного перевода на русский язык* стандарта IEC 62471: 2006 «Photobiological safety of lamps and lamp systems» [10]. Такой трансфер внедрения стандарта свидетельствует о том, что в России утеряна собственная профессиональная школа светобиологической безопасности.

В основе оценки светобиологической безопасности лежит теория рисков и методология количественной оценки предельных норм воздействия опасного синего света на сетчатку. Предельные значения показателей светобиологической безопасности рассчитывались для установленного предела облучения диаметра зрачка 3 мм (площадь 7 мм^2). Для этих параметров диаметра зрачка глаза были определены значения взвешенной спектральной функции опасности от синего света B (λ), максимум которой приходится на спектральный диапазон излучения 435–440 нм.

Теория рисков негативного влияния света и методология расчетов фотобиологической безопасности была разработана на базе основополагающих статей основателя фотобиологической безопасности искусственных источников света доктора David H. Sliney (Давида Слини) [12, 13]. В течение многих лет он был руководителем отдела Центра по укреплению здоровья и профилактической медицины армии США и возглавлял проекты по фотобиологической безопасности, пока в 2007 г. не закончил службу и не вышел на пенсию. Его научные интересы сосредоточены на проблемах, связанных с УФ-воздействием на глаза, взаимодействий лазерного излучения и тканей, опасностей применения лазеров в медицине. Он служил в качестве члена, консультанта и председателя многочисленных комиссий

© Капцов В.А., Дейнего В.Н., 2016

Капцов Валерий Александрович – член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор, заведующий отделом гигиены труда (e-mail: kapcovva39@mail.ru; тел.: 8 (499) 15-33-628).

Дейнего Виталий Николаевич – руководитель проекта по светотехнике (e-mail: aet@aetechnologies.ru; тел.: 8 (495) 280-76-07).

и учреждений, которые разрабатывали стандарты безопасности для защиты от неионизирующих излучений, в частности, от лазеров и других высокоинтенсивных источников оптического излучения (ANSI, ISO, ACGIH, IEC, ВОЗ, НКРЗ, и ICNIRP). В соавторстве издал справочник «Безопасность с лазерами и другими оптическими источниками» (Нью-Йорк, 1980). В 2008–2009 гг. доктор David H. Sliney являлся президентом Американского общества по фотобиологии.

Разработанные David H. Sliney в стенах Центра по укреплению здоровья и профилактической медицины армии США основополагающие принципы лежат в основе современной методологии фотобиологической безопасности искусственных источников света. Это методологический паттерн автоматически перенесен и на светодиодные источники света, и на нём воспитана большая плеяда последователей и учеников, которые продолжают распространять данную методологию на светодиодное освещение. В своих трудах они пытаются через классификацию рисков обосновывать и продвигать светодиодное освещение. Их работы поддерживают Philips-Lumileds, Osram, Cree, Nichia и другие производители светодиодного освещения. В настоящее время в сферу интенсивных исследований и анализа возможностей (и ограничений) в области светодиодного освещения вовлечены:

– государственные учреждения, такие как Минэнерго США, Минэнерго РФ;

– общественные организации типа Illuminating Engineering Society of North America (IESNA), Alliance for Solid-State Illumination and Technologies (ASSIST), International Dark-Sky Assosiation (IDA) и НП ПСС РФ;

– крупнейшие фирмы-производители Philips-Lumileds, Osram, Cree, Nichia и российские производители «Оптоган», «Светлана Оптоэлектроника», ряд НИИ, университетов, лабораторий: Lighting Research Center at Rensselaer Polytechnic Institute (LRC RPI), National Institute of Standards and Technology (NIST), American National Standard Institute (ANSI), а также НИИИС им. А.Н. Лодыгина, ВНИСИ им. С.И. Вавилова.

Ежегодное количество публикаций по светодиодной тематике исчисляется сотнями, число международных конференций – десятками. На внедрение светодиодного освещения потрачены миллиарды рублей. В этих условиях оценка фотобиологической безопасности является крайне актуальной для обеспечения безопасности детей (поколения), снижения угроз национальной безопасности.

С точки зрения определения избыточной дозы синего света, представляет интерес работа «Оптическая безопасность светодиодного освещения» (CELMA-ELC LED WG (SM) 011_ELC CELMA position paper optical safety LED lighting_ _July, 2011). В этом европейском отчете в соответствии с требованием стандарта EN 62471 проведено сравнение спектров солнечного света со светом искусственных источников (лампой накаливания, люминесцентными и светодиодными лампами). Через призму современной парадигмы гигиенической оценки рассмотрим представленные в этом европейском отчете данные с целью определения избыточной доли синего света в спектре светодиодного источника белого света. На рис. 1 представлен спектральный паттерн светодиода, который состоит из кристалла, излучающего синий свет, покрытого желтым люминофором для получения белого света.

На рис. 1 также указаны реперные точки, на которые должен обращать внимание гигиенист при анализе спектра света от любого источника. С этой точки зрения рассмотрим спектры солнечного света (рис. 2).

Из рис. 2 видно, что в интервале цветовой температуры от 4000 до 6500 К соблюдаются условия «меланопсинового креста» [9]. На энергетическом спектре света амплитуда (А) на 480 нм должна быть всегда больше, чем амплитуда на 460 и 450 нм. При этом доза синего света 460 нм в спектре солнечного света с цветовой температурой 6500 К на 40 % больше, чем у солнечного света с цветовой температурой 4000 К.

Эффект «меланопсинового креста» наглядно виден из сравнения спектров ламп накаливания и светодиодной лампы с цветовой температурой 3000 К (рис. 3).

Избыточная доля синего света в спектре светодиода превышает на 55 % долю синего света в спектре лампы накаливания

Учитывая вышесказанное, сравним солнечный свет при $T_к$ = 6500 К (6500 К – предельная цветовая температура для сетчатки глаз по Давиду Слини, а по санитарным нормам – менее 6000 К) со спектром лампы накаливания $T_к$ = 2700 К и спектром светодиодной лампы с $T_к$ = 4200 К при уровне освещенности 500 люкс (рис. 4).

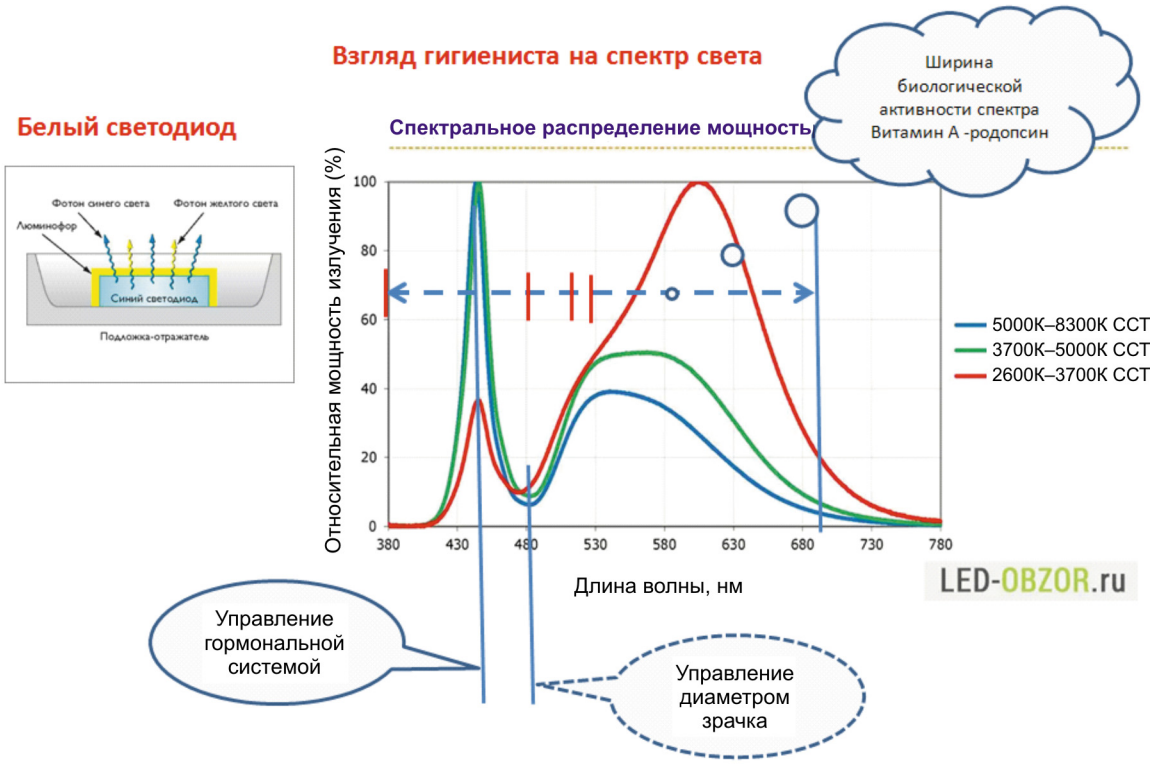

Рис. 1. Спектр света белого светодиода

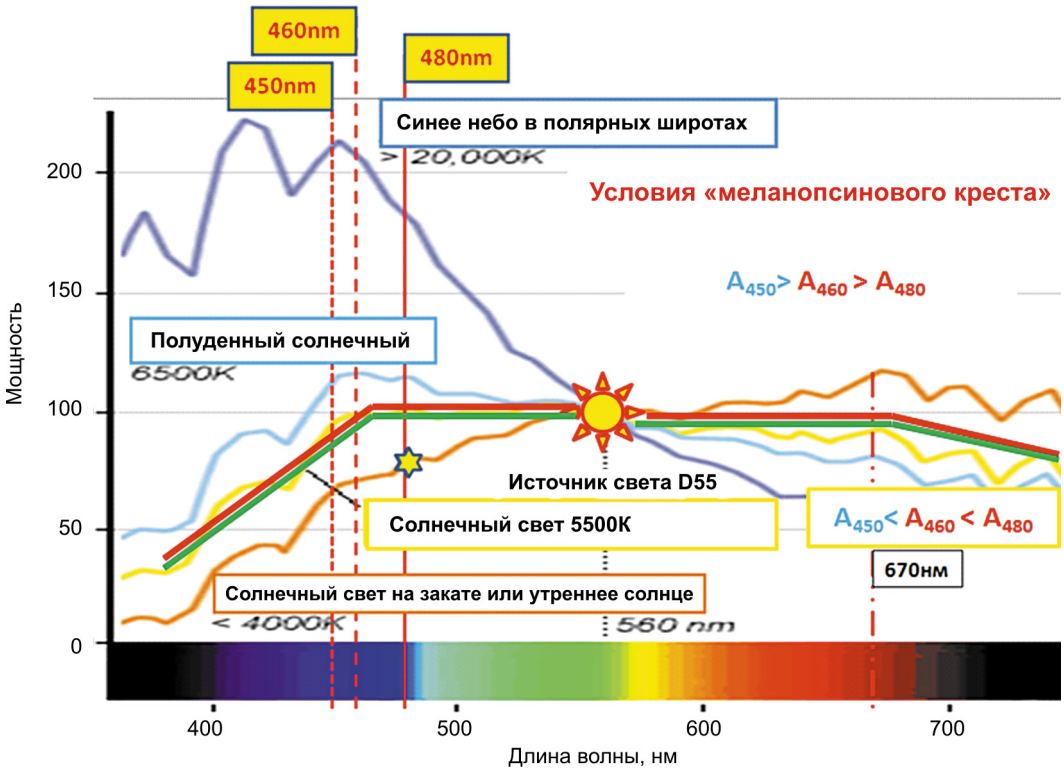

Рис. 2. Спектр солнечного света в зависимости от времени суток

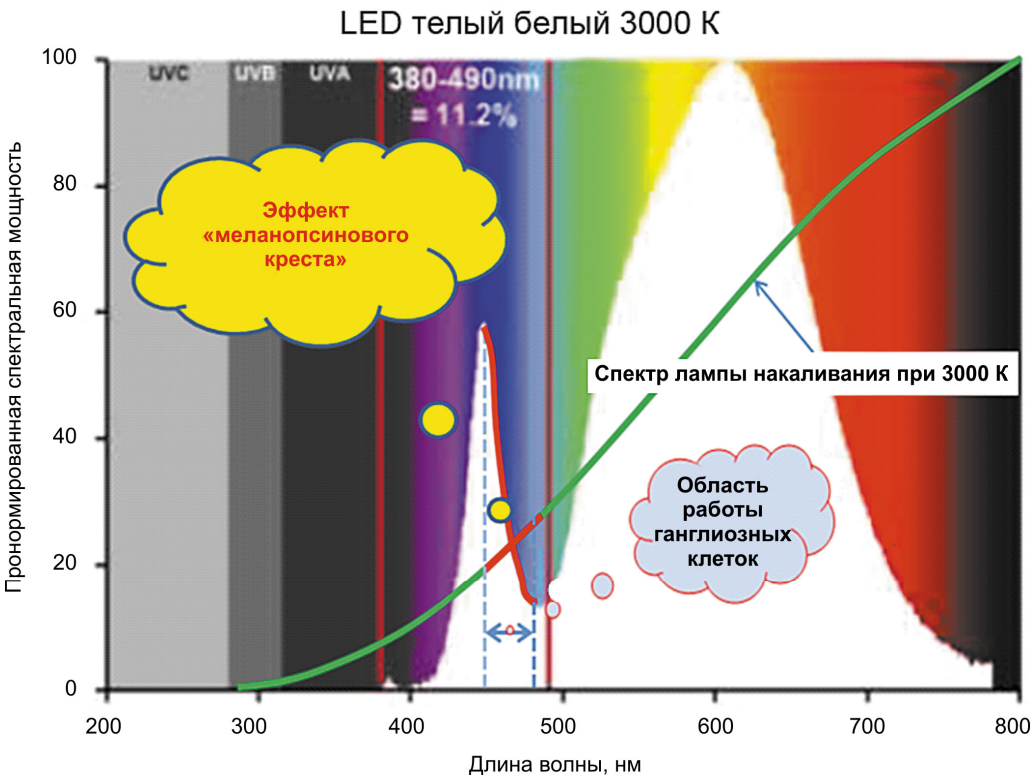

Рис. 3. Эффект «меланопсинового креста»

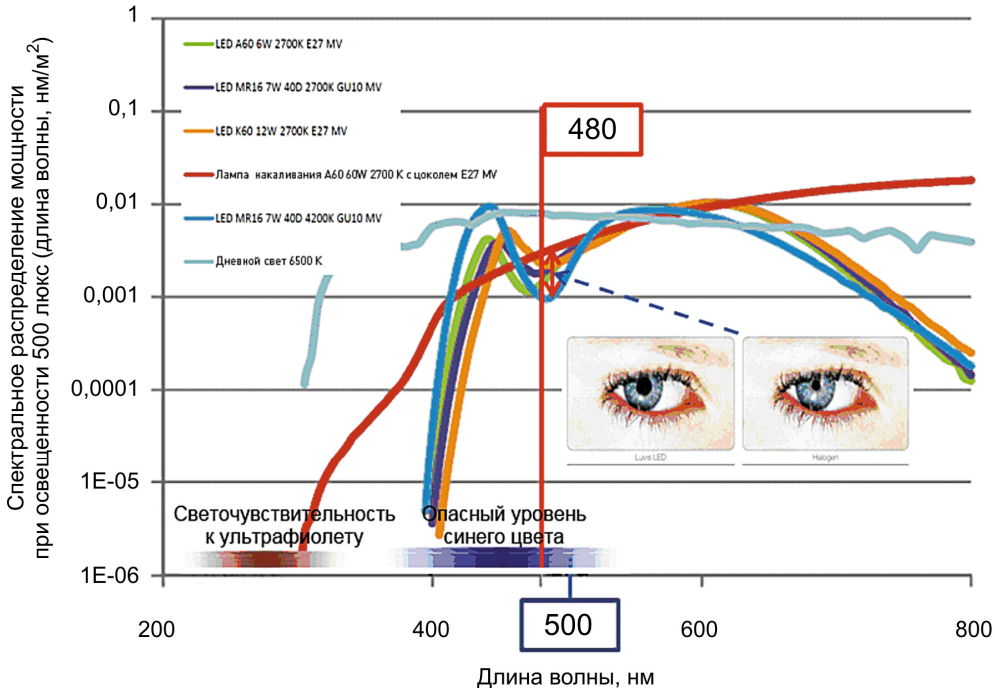

Рис. 4. Сравнение спектров солнечного спектра, лампы накаливания и светодиодных ламп

Из рисунка видно:

– светодиодная лампа ($T_к$ = 4200 К) имеет выброс на 460 нм больше, чем у солнечного света (6500 К);

– в спектре света светодиодной лампы ($T_к$ = 4200 К) провал на 480 нм на порядок (в 10 раз) больше, чем в спектре солнечного света (6500 К);

– в спектре света светодиодной лампы ($T_к$ = 4200 К) провал на 480 нм в разы больше, чем в спектре света лампы накаливания ($T_к$ = 2700 К).

Известно, что при светодиодном освещении диаметр зрачка глаза превышает предельные значения 3 мм (площадь 7 мм^2) по ГОСТ Р МЭК 62471–2013 «Лампы и ламповые системы. Светобиологическая безопасность».

Из данных, приведенных на рис. 2, видно, что доза синего света 460 нм в спектре солнечного света для цветовой температуры 4000 К намного меньше, чем доза синего света 460 нм в спектре солнечного света при цветовой температуре 6500 К.

Из этого следует, что доза синего света 460 нм в спектре светодиодного освещения с цветовой температурой 4200 К будет значительно (на 40 %) превышать таковую синего света 460 нм в спектре солнечного света с цветовой температурой 4000 К при одинаковом уровне освещенности. Эта разница и составляет избыточную дозу синего света при светодиодном освещении относительно солнечного света той же цветовой температуры и при заданном уровне освещенности. Но эта доза должна быть дополнена дозой синего света, получаемой от неадекватного управления зрачком в условиях светодиодного освещения и неравномерности по объему и площади распределения пигментов желтого пятна, поглощающих синий свет 460 нм. Именно суммарная избыточная доза синего света приводит к ускорению деградационных процессов, которые увеличивают риски раннего ухудшения зрения по сравнению с солнечным светом при прочих равных условиях (заданного уровня освещенности, цветовой температуры и эффективной работы желтого пятна сетчатки) [1, 3–5, 9, 11–13].

Схема защиты сетчатки глаза сформировалась в условиях солнечного света. При спектре солнечного света происходит адекватное управление диаметром зрачка глаза на закрытие, что приводит к уменьшению дозы солнечного света, попадающего на клетки сетчатки. Диаметр зрачка у взрослого человека изменяется от 1,5 до 8,0 мм, что обеспечивает изменение интенсивности падающего на сетчатку света примерно в 30 раз.

Уменьшение диаметра зрачка глаза приводит к уменьшению площади световой проекции изображения, которая не превышает площади желтого пятна в центре сетчатки. Защита клеток сетчатки от синего света осуществляется пигментом желтого пятна (с максимумом поглощения 460 нм), формирование которого имеет свою эволюционную историю.

У новорожденных область желтого пятна светло-желтого цвета с нечеткими контурами.

С трехмесячного возраста появляется макулярный рефлекс, и уменьшается интенсивность желтого цвета.

К одному году определяется фовеолярный рефлекс, центр становится более темным.

К 3–5-летнему возрасту желтоватый тон макулярной области почти сливается с розовым или красным тоном центральной зоны сетчатки.

Область желтого пятна у детей 7–10 лет и старше, как и у взрослых, определяется по бессосудистой центральной зоне сетчатки и световым рефлексам. Понятие «желтое пятно» возникло в результате макроскопического исследования трупных глаз. На плоскостных препаратах сетчатки видно небольшое пятно желтого цвета. Долгое время химический состав пигмента, окрашивающего эту зону сетчатки, был неизвестен. В настоящее время выделены два пигмента – лютеин и изомер лютеина – зеаксантин, которые называют пигментом желтого пятна, или макулярным пигментом. Уровень лютеина выше в местах большей концентрации палочек, уровень зеаксантина – в местах большей концентрации колбочек. Лютеин и зеаксантин относятся к семейству каротиноидов – группе натуральных пигментов растительного происхождения. Считается, что лютеин выполняет две важные функции: во-первых, он поглощает вредный для глаз голубой свет; во-вторых, является антиоксидантом, блокирует и удаляет образующиеся под действием света активные формы кислорода. Содержание лютеина и зеаксантина в макуле неравномерно распределено по площади (в центре максимум, а по краям в разы меньше) и снижается с возрастом. Это значит, и защита от синего света (460 нм) уменьшается с возрастом. Эти пигменты в организме не синтезируются, их можно получить только с пищей. Значит, общая эффективность защиты от синего света в центре желтого пятна зависит и от качества питания [2–5, 7, 8].

На рис. 5 приведена общая схема сравнения проекций светового пятна галогенной лампы (по спектру близка к солнечному спектру) и светодиодной лампы. При светодиодном свете площадь засветки больше, чем от галогенной лампы (ГЛ).

По разнице выделенных площадей засветки рассчитывается дополнительная доза синего света от эффекта неадекватности управления зрачком в условиях светодиодного освещения с учетом неравномерности распределения пигментов, поглощающих синий свет 460 нм, по объему и площади. Данная качественная оценка избыточной доли синего света в спектре белых светодиодов может стать методической основой для количественных оценок в будущем. Из этого ясно, что необходимо техническое решение заполнения провала в области 480 нм до уровня ликвидации эффекта «меланопсинового креста». Такое решение было оформлено в виде авторского свидетельства на изобретение (Светодиодный источник белого света с комбинируемым удаленным фотолюминесцентным конвектором: патент № 2502917 от 30.12.2011 г.), что обеспечивает приоритет России в области создания светодиодных источников белого света с биологически адекватным спектром. К большому сожалению, эксперты Минпромторга РФ данное направление не сочли приоритетным и не стали финансировать эти работы, которые касаются не только общего освещения (школ, роддомов), но и мониторов и автомобильных фар.

Неадекватное управление диаметром зрачка глаза при светодиодном освещении создает условия для получения избыточной дозы синего света, которая негативно воздействует на клетки сетчатки (ганглиозные клетки) и ее сосуды, что потверждено работами ФГБУН «Институт биохимической физики им. Н.М. Эммануэля» РАН [3, 7, 8].

Данные эффекты по неадекватному управлению диаметром зрачка глаза справедливы и для люминесцентных и энергосберегающих ламп (рис. 6). При этом отмечается повышенная доля УФ-света при 435 нм («Оптическая безопасность светодиодного освещения», CELMA–ELC LED WG (SM) 011_ELC CELMA position paper optical safety LED lighting_ Final_July 2011).

В школах США были проведены измерения диаметра зрачка глаз школьников при замене люминесцентных ламп ($T_к = 3600$ К) на люминесцентные лампы ($T_к = 5500$ К). Площадь зрачка уменьшилась на 2,3 мм^2 при общем улучшении психофизического состояния учеников, подбное тому, что наблюдали специалисты НИИ гигиены и охраны здоровья детей и подростков НЦЗД РАМН в ходе исследований при замене в школе люминесцентных ламп на светодиодные светильники. В частности, при использовании люминесцентных ламп с $T_к = 4000$ К диаметр зрачка глаза был равен 4,9 мм. С уменьшением коррелированной цветовой температуры искусственных источников света увеличивался диаметр зрачка глаза, что создает предпосылки для негативного воздействия синего света на клетки и сосуды сетчатки. А с её увеличением уменьшается диаметр зрачка глаза, но не достигает значений, регистрируемых при солнечном свете. Избыточная доза УФ-синего света также может приводить к ускорению деградационных процессов, увеличивать риски раннего ухудшения зрения по сравнению с солнечным светом при прочих равных условиях.

Повышенная доза синего в спектре светодиодного освещения влияет на здоровье человека и функционирование зрительного анализатора, что увеличивает риски инвалидизации по зрению и ухудшению здоровья в трудоспособном возрасте, последнее, по большому счету, составляет угрозу национальной безопасности. Свет определенного спектра является оружием воздействия на большие массы людей. Это подтверждают исследования DARPA, проведенные в 2008 г. по теме SB082-055 ВМС США. В этом же году, не привлекая широкого внимания, три профессора, Стив Ден Баарс, Джим Спек, и Сюдзи Накамура, к которым присоединились ведущие специалисты из Philips Lumileds и Intel, собрали команду высококлассных инженеров и основали новую компанию Soraa по выпуску светодиодных ламп нового поколения (фиолетовый светодиод и RGB-люминофор). Они получили финансирование от Минэнерго США и построили опытный завод в Фримонте, штат Калифорния (США) [12]. Свои амбициозные планы специалисты фирмы Soraa закрепили патентом US2015/0062892 A1 от 5 марта 2015 г. «Circadian friendly led light source» (Soraa, INC, Fremont, CA (US).

В соответствии с этим патентом идеология «циркадно дружественного светодиодного

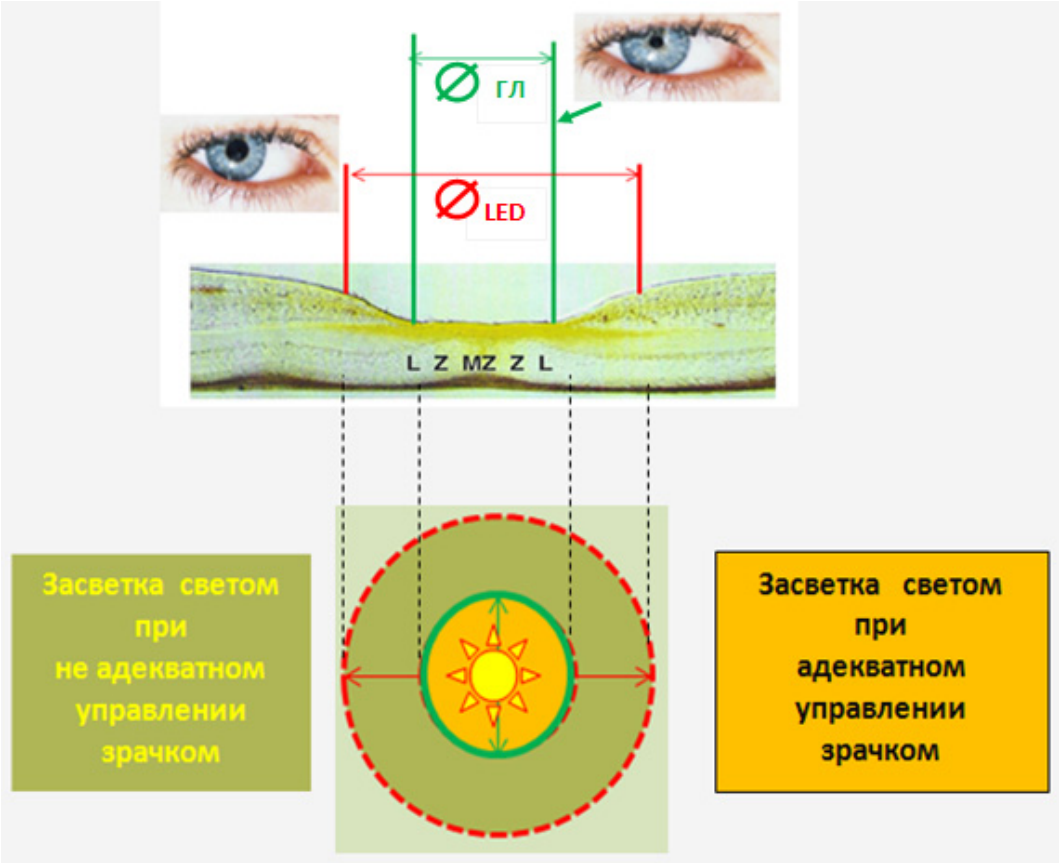

Рис. 5. Сравнение площади световой засветки сетчатки галогенной и светодиодной лампой

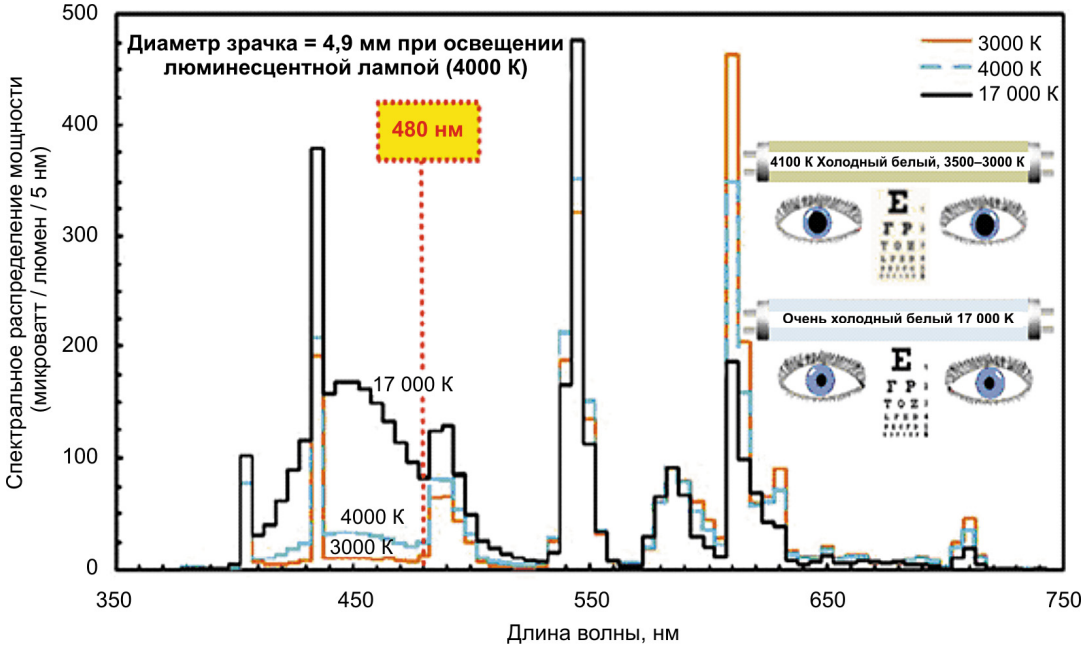

Рис. 6. Спектры люминесцентных ламп с различными значениями коррелированной цветовой температуры

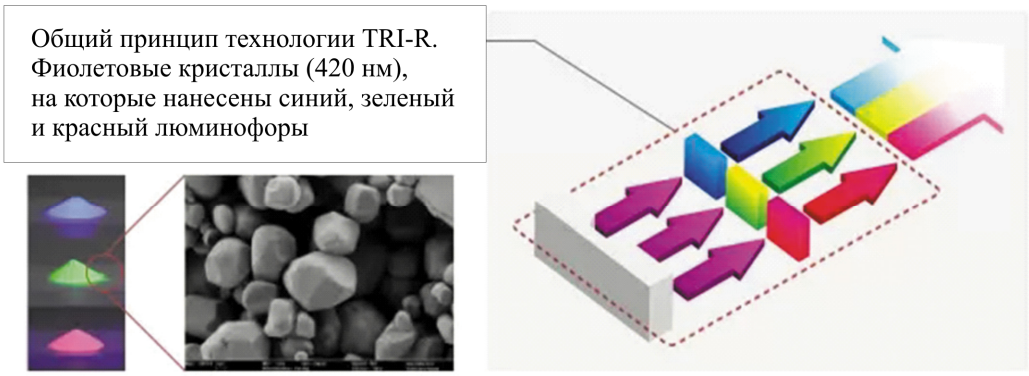

Рис. 7. Технология TRI-R

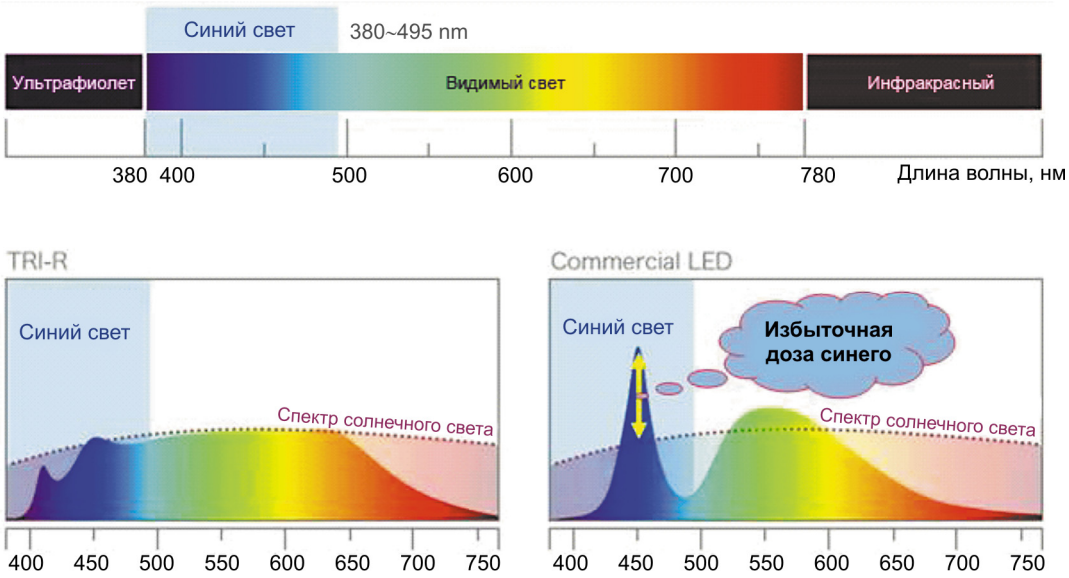

Рис. 8. Общая картина сравнения спектров света

источника света» распространяется на источники света для общего освещения, подсветки мониторов, автомобильные фары.

Одним словом, новая идеология Сюдзи Накамуры распространяется на все значимые области применения светодиодных источников света.

В противовес консерватизму экспертов Минпромторга РФ и Инновацио́нного центра «Ско́лково» предлагаемая нами концепция создания полупроводниковых источников белого света с биологически адекватным светом набирает сторонников по всему миру. Например, в Японии (фирма Toshiba Material Co., LTD) созданы светодиоды по технологии TRI-R (рис. 7).

Такая комбинация фиолетовых кристаллов и люминофоров позволяет синтезировать светодиоды со спектрами, близкими к спектру солнечного света с различной цветовой температурой, и устранить недостатки в спектре традиционного светодиода (синий кристалл, покрытый желтым люминофором).

На рис. 8 представлено сравнение спектра солнечного света ($T_к$ = 6500 К) со спектрами светодиодов по технологии TRI-R и традиционной технологии (синий кристалл, покрытый желтым люминофором).

Из анализа представленных данных видно, что в спектре белого света светодиодов по технологии TRI-R устранен провал на 480 нм и отсутствует избыточная доза синего.

Нам остается только поздравить наших зарубежных коллег и выразить надежду, что исследования по выявлению механизмов воздействия света определенного спектра на здоровье человека станут государственной задачей. Скорейшее осознание важности этой проблемы по-

зволит избежать многомиллиардных издержек в будущем.

Выводы:

1. В санитарные правила Российской Федерации переносятся нормы из светотехнических нормативных документов путем аутентичного перевода стандартов, в том числе европейских. Эти стандарты формируются специалистами, которые проводят свою национальную техническую политику (национального бизнеса), часто не совпадающую с национальной технической политикой России. В частности, это зафиксировано в ГОСТ Р МЭК 62471-2013 «Лампы и ламповые системы. Светобиологическая безопасность». При светодиодном освещении происходит неадекватное управление диаметром зрачка глаза, что ставит под сомнение корректность фотобиологических оценок по этому ГОСТу.

2. Государство не финансирует опережающие исследования по влиянию технологий на здоровье человека, из-за чего врачи-гигиенисты вынуждены адаптировать нормы и требования под технологии, которые продвигаются экономически заинтересованным бизнесом.

3. Технические решения по разработке светодиодов светильников и экранов персональных компьютеров должны обеспечивать безопасность глаз и здоровья человека, исключить эффект «меланопсинового креста», характерного для всех ныне существующих энергосберегающих источников света и устройств отображения информации.

4. При светодиодном освещении белыми светодиодами (синий кристалл и желтый люминофор), которые имеют провал в спектре на 480 нм, происходит неадекватное управление диаметром зрачка глаза.

5. Для родильных домов, детских учреждений и школ должны использоваться светильники с биологически адекватным спектром света, учетом особенностей детского зрения, прошедшие обязательную гигиеническую сертификацию.

Список литературы

1. Дейнего В.Н., Капцов В.А. Свет энергосберегающих и светодиодных ламп и здоровье человека // Гигиена и санитария. – 2013. – № 6. – С. 81–84.
2. Дейнего В.Н., Капцов В.А., Сорока А.И. Влияние света и физических полей на риск дисгармонизации синтеза мелатонина в шишковидной железе // Анализ риска здоровью. – 2014. – № 2. – С. 30–41.
3. Изменения сосудистой оболочки глаза разновозрастных групп японского перепела Coturnix Japonica в зависимости от спектрального состава освещения / А.О. Сигаева, Н.Б. Сережникова, Л.С. Погодина, Н.Н. Трофимова, О.А. Дадашева, Т.С. Гурьева, П.П. Зак // Сенсорные системы. – 2015. – Т. 29, № 4. – С. 354–361.
4. Капцов В.А., Дейнего В.Н. Изменения в концепции построения светодиодов для освещения с учетом здоровья человека // Энергосовет: электронный журнал. – 2015. – № 4 (41). – С. 40–44.
5. Капцов В.А., Дейнего В.Н. Риски влияния света светодиодных панелей на состояние здоровья оператора // Анализ риска здоровью. – 2014. – № 4. – С. 37–46.
6. Функциональное состояние зрительного анализатора при использовании традиционных и светодиодных источников света / В.А. Капцов, Н.Н. Сосунов, В.С. Викторов, И.И. Шищенко, В.Н. Тулушев, В.Н. Дейнего, Е.А. Бухарева, М.А. Мурашова, А.А. Шищенко // Гигиена и санитария. – 2014. – Т. 93, № 4. – С. 120–123.
7. Экспериментальная модель для исследования механизмов возрастных и дегенеративных изменений в сетчатке глаза человека (японский перепел C. japonica) / П.П. Зак, А.В. Зыкова, Н.Н. Трофимова и др. // ДАН.– 2010. – Т. 434, № 2. – С. 272–274.
8. Японский перепел Coturnix japonica как модель ускоренного старения сетчатки глаза человека. Сообщение 1. Зависимость накопления липофусцина в клетках ретинального пигментного эпителия от уровня содержания ретинальных оксикаротиноидов / П.П. Зак, А.В. Зыкова, Н.Н. Трофимова, М.А. Островский // Офтальмохирургия. – 2013. – № 1. – С. 9–12.
9. Cruickshanks K. J., Klein R., Klein B. F. K. Sunlight and age-related macular degeneration. The Beaver Dam Eye Study // Archives of Ophthalmology. – 1993. – Vol. 111, № 4. – P. 514–518.
10. IEC 62471:2006 Photo biological safety of lamps mad lamp systems [Электронный ресурс]. – URL: http://www.seoulsemicon.com/_upload/Goods_Spec/A3_LED_eyesafety%28AX32X0%29.pdf (дата обращения: 11.10.2015)
11. Shaban H, Richter C. A2E and blue light in the retina: the paradigm of age-related macular degeneration // Biol Chem. – 2002 (Mar-Apr). – Vol. 383 (3–4). – P. 537–545.
12. Sliney D. H. Blue light risk and light therapy. US Army Center for Health Promotion and Preventive Medicine Aberdeen Proving Ground, MD, USA [Электронный ресурс]. – URL: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.548.4019&rep=rep1&type=pdf (дата обращения: 11.10.2015).

13. Sliney D.H. Blue-light injury can result from viewing either extremely bright light for a short time or less bright light for a longer time // Ocular Injury Due to Light Toxicity. International Ophthalmology Clinics. – 1988. – Vol. 28, № 3. – P. 246–250.

Капцов В.А., Дейнего В.Н. Синий свет светодиодов – новая гигиеническая проблема // Анализ риска здоровью. – 2016. – № 1 (13). – С. 15–25.

BLUE LED LIGHT AS A NEW HYGIENIC PROBLEM

V.A. Kaptsov[1], V.N. Deinego[2]

[1]FSUE "All-Russian Research Institute of Railway Hygiene" of Rospotrebnadzor,
1 Pakgauznoe Shosse St., Bldg. 1, Moscow, 125438, Russian Federation
[2]LLC "New Energy Technologies", 100 Novaya, Odintsovsky district, Moscow region, village Skolkovo, 143025, Russian Federation

The conditions for the formation of an excess dose of blue light produced by the LED lighting were examined. It is shown that light-biological safety assessment carried out in accordance with GOST R IEC 62471-2013 need to be clarified, taking into account changes in the pupil of eye's diameters when LED lighting and spatial distribution of the light-absorbing blue light (460 nm) of the pigment in the macula influences it. Methodical principles of calculation of an excess dose of blue light in the spectrum of LED lighting comparing to sunlight are presented. It is indicated that today in the USA and Japan the concept of LED lighting has changed and LED white light been developed to minimize disturbances of health risks. This concept applies not only to general lighting in the United States, but also to monitors and car headlights.

***Key words**: LED, excess dose of blue in the spectrum of artificial white light sources, photo-biological security, national security.*

References

1. Kaptsov V.A., Deynego V.N. Svet jenergosberegajushhih i svetodiodnyh lamp i zdorov'e cheloveka [Energy saving and LED lamp litghting and human health]. *Gigiena i sanitarija*, 2013, no. 6, pp. 81–84. (in Russian).

2. Deynego V.N., Kaptsov V.A., Soroka A.I. Vlijanie sveta i fizicheskih polej na risk disgarmonizacii sinteza melatonina v shishkovidnoj zheleze [Influence of light and physical fields on risk of disharmonization of melatonin synthesis in the pineal gland]. *Analiz riska zdorov'ju*, 2014, no. 2, pp.30–41. (in Russian).

3. Zak P.P., Zykova A.V., Trofimova N.N., Ostrovskij M.A. Japonskij perepel Coturnix japonica kak model' uskorennogo starenija setchatki glaza cheloveka. Soobshhenie 1. Zavisimost' nakoplenija lipofuscina v kletkah retinal'nogo pigmentnogo jepitelija ot urovnja soderzhanija retinal'nyh oksikarotinoidov [Japanese quail Coturnix japonica as a model of accelerated aging of the retina of the human eye. Report 1. The dependence of the accumulation of lipofuscin in the cells of the retinal pigment epithelium on the level of retinal oxycarotinoids]. *Oftal'mohirurgija*, 2013, no. 1, pp. 9–12. (in Russian).

4. Kaptsov V.A., Deynego V.N. Riski vlijanija sveta svetodiodnyh panelej na sostojanie zdorov'ja operatora [Influence risks of the LED panel light on an operator's health]. *Analiz riska zdorov'ju*, 2014, no. 4, pp.37–46. (in Russian).

5. Kaptsov V. A., Sosunov N.N., Shishchenko I.I., Viktorov V.S., Tulushev V.N., Deynego V.N., Bukhareva E.A., Murashova M.A., Shishchenko A.A. Funkcional'noe sostojanie zritel'nogo analizatora pri ispol'zovanii tradicionnyh i svetodiodnyh istochnikov sveta [Functional state of the visual analyzer in the conditions of the use of traditional and LED light sources]. *Gigiena i sanitarija*, 2014, vol. 93, no. 4, pp.120–123. (in Russian).

© Kaptsov V.A., Deinego V.N., 2016

Kaptsov Valeriy Alexandrovich – Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, prof., Head of the Occupational Health Department (e-mail: kapcovva39@mail.ru; tel.: + 7 (499) 15-33-628).

Deinego Vitaly Nikolayevich – Project Manager for Lighting LLC (e-mail: aet@aetechnologies.ru; tel.: + 7 (495) 280-76-07).

6. Zak P.P., Zykova A.V., Trofimova N.N. [et al.]. Jeksperimental'naja model' dlja issledovanija mehanizmov vozrastnyh i degenerativnyh izmenenij v setchatke glaza cheloveka (japonskij perepel C. japonica) [Experimental model of studying mechanisms of age-related and degenerative changes in the retina of the human eye (Japanese quail C. japonica)]. *DAN*, 2010, vol. 434, no. 2, pp. 272–274. (in Russian).

7. Sigaeva A.O., Seriozhnikova N.B., Pogodina L.S., Trofimova N.N., Dadasheva O.A., Gur'eva T.S., Zak P.P. Izmenenija sosudistoj obolochki glaza raznovozrastnyh grupp japonskogo perepela Coturnix Japonica v zavisimosti ot spektral'nogo sostava osveshhenija [Changes of the choroid of different age groups of Japanese quails Coturnix japonica depending on the spectrum composition of illumination]. *Sensornye sistemy*, 2015, vol. 29, no. 4, pp. 354–361. (in Russian).

8. Kaptsov V.A., Deynego V.N. Izmenenija v koncepcii postroenija svetodiodov dlja osveshhenija s uchetom zdorov'ja cheloveka [Changes of the concept of building LED lighting, taking into account human health]. *Jelektronnyj zhurnal «JeNERGOSOVET»*, 2015, no. 4 (41), pp. 40–44. (in Russian).

9. Cruickshanks K. J., Klein R., Klein B. F. K. Sunlight and age-related macular degeneration. The Beaver Dam Eye Study. *Archives of Ophthalmology*, 1993, vol. 111, no. 4, pp. 514–518.

10. IEC 62471:2006 Photo biological safety of lamps mad lamp systems Available at: http://www.seoulsemicon.com/_upload/Goods_Spec/A3_LED_eyesafety%28AX32X0%29.pdf (11.10.2015).

11. Shaban H, Richter C. A2E and blue light in the retina: the paradigm of age-related macular degeneration. *Biol Chem*, 2002 (Mar-Apr), vol. 383 (3–4), pp. 537–545.

12. Sliney D. H. Blue light risk and light therapy. US Army Center for Health Promotion and Preventive Medicine Aberdeen Proving Ground, MD, USA Available at: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.548.4019&rep=rep1&type=pdf (11.10.2015).

13. Sliney D.H. Blue-light injury can result from viewing either extremely bright light for a short time or less bright light for a longer time. Ocular *Injury Due to Light Toxicity. International Ophthalmology Clinics*, 1988, vol. 28, no. 3, pp. 246–250.

Kaptsov V.A., Deinego V.N. Blue led light as a new hygienic problem // Health Risk Analysis. – 2016. – № 1 (13). – P. 15–25. (in Russian).