

ДВЕ КОНЦЕПЦИИ РАЗВИТИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИСТОЧНИКОВ БЕЛОГО СВЕТА ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ ШКОЛ

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Капцов В. А.¹, зав. отделом гигиены труда, д-р мед. наук, проф., член-корр. РАН; **Дейнего В. Н.**², руководитель проекта по светодиодному освещению; **Уласюк В. Н.**², генеральный директор, д-р физ.-мат. наук, проф.; **Ильина Е. И.**³, зав. лабораторией промышленного освещения, канд. тех. наук; **Светлова О. В.**⁴, д-р мед. наук, доцент, проф. каф. офтальмологии; **Гусева М. Г.**⁵, врач-офтальмолог высшей квалификации; **Эгембердиев М. Б.**⁶, к.м.н., зав. офтальмологическим отделением; **Кошиц И. Н.**⁷, генеральный директор.

¹ ФГУП Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожной гигиены Роспотребнадзора (ВНИИЖГ), г. Москва; ² ЗАО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОММЕРЧЕСКАЯ ФИРМА «ЭЛТАН ЛТД»», г. Москва; ³ ООО «Научно-исследовательский институт охраны труда», г. Иваново; ⁴ ГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова», г. Санкт-Петербург; ⁵ Медицинский диагностический центр «Водоканал Санкт-Петербурга»; ⁶ Чуйская областная больница, г. Бишкек, Кыргызстан; ⁷ ООО «Питерком-Сети / МС», г. Санкт-Петербург.

Введение

Забота о зрении детей и связанная с ней проблема освещения школ являются важнейшими для любого государства. Сегодня, с массовым появлением светодиодных энергосберегающих искусственных источников света (СИС) со спектром, неадекватным спектру Солнца, проблема школьного освещения становится особенно важной. Плохое освещение прямо влияет на развитие адаптационной миопии и других глазных заболеваний. К сожалению, многие офтальмологи на практике мало знают об этой проблеме, но когда узнают, то мгновенно понимают всю ее серьезность и возможные последствия для детей и даже для взрослых. Простого решения нет: здесь пересекаются самые разные, подчас противоположные интересы. Производители СИС первого поколения и более новых, но тоже с дискретным спектром, возможно, опасных для зрения, заинтересованы в продвижении своей продукции. А перед государством стоят сразу две задачи: энергосбережение и одновременно воспитание здорового поколения – главного человеческого капитала любой страны.

Выбор концепции развития источников света для школьного освещения – архиважная задача в условиях надвигающейся пандемии близорукости, когда к 2050 году миопами, возможно, станет половина населения Земли. А такая болезнь современной цивилизации, как возрастная макулярная дегенерация (ВМД), уже в 2 раза перегнала по численности глаукому: в мире насчитывается около 226 млн больных, и их число растет с гигантской скоростью. Понимание возможной видео- и фото- опасности СИС диктует необходимость

Российское государство в лице Минэнерго и производители светодиодных источников света принимают значительные усилия для продвижения светодиодов первого поколения (с дискретным спектром излучения) в общеобразовательные, дошкольные и школьные учреждения РФ. В аналитическом обзоре с позиций медицинской деонтологии рассмотрены основные аргументы потребителей и производителей, приведены результаты экспертных оценок влияния светодиодного освещения на зрение и здоровье в целом. По мнению мирового экспертного сообщества, главный вопрос современной светотехники – это выбор правильного спектра искусственного белого света, который должен быть безопасным и комфортным для всех возрастных групп населения. Необходимо оценивать видеобезопасность излучаемого белого света для зрительного анализатора и здоровья в целом.

По этому критерию традиционные светодиодные лампы с дискретным спектром излучения антифизиологичны и могут угрожать здоровью пользователей. Медицинское обоснование применения этой технологии в РФ явно недостаточное. Психологические исследования проводились с участием очень небольшого числа детей и в принципе не позволяют судить о рисках для зрения, поскольку офтальмологи в них не участвовали. Авторы предлагают внедрять в России более современную технологию – светодиодные лампы с непрерывным и близким к солнечному спектром излучения. Это позволит существенно снизить нагрузку на зрительный анализатор человека и обеспечить световую гигиену на рабочем месте.

Ключевые слова: синий свет, видеобезопасность, видеоэкология, офтальмоэргономика, гигиена освещения, фототоксичность, ВМД, катаракта, сетчатка, солнечный свет, светодиоды, светотехника, спектр излучения.

Kaptsov V.A., Deynego V.N., Ulasyuk V.N., Ilyina E.I., Svetlova O.V., Guseva M.G., Egembardiev M.B., Kosits I.N. **TWO CONCEPTS OF DEVELOPMENT OF SOLID-STATE WHITE LIGHT SOURCES FOR SCHOOL LIGHTING: AN ANALYTICAL OVERVIEW**

The Russian state, represented by the Ministry of Energy, and the manufacturers of LED light sources, make significant efforts to promote first-generation LEDs (with a discrete spectrum of radiation) to the general educational, pre-school and school institutions of the Russian Federation. In this analytical review the main arguments of consumers and manufacturers are considered from the standpoint of medical deontology. The results of expert assessments of the influence of LED lighting on vision and health in general are presented. According to the world expert community, the main issue of modern lighting technology is choosing the right spectrum of artificial white light, which should be safe and comfortable for all age groups of the population. It is necessary to evaluate the video safety of the emitted white light for the visual analyzer and for health in general.

According to this criterion, traditional LED lamps with a discrete spectrum of radiation are antiphysiological and can threaten the health of users. The medical justification for using this technology in the Russian Federation is clearly not enough. Psychophysiological studies were conducted with the participation of a very small number of children and, in principle, do not allow us to judge the risks to vision, since ophthalmologists did not participate in them. The authors propose to introduce in Russia a more modern technology – LED lamps with a continuous spectrum, which is closer to solar. This will significantly reduce the load on the human visual analyzer and provide light hygiene in the workplace.

Key words: blue light, video safety, videoecology, ophthalmoeconomics, lighting hygiene, phototoxicity, AMD, cataract, retina, sunlight, LEDs, lighting equipment, emission spectrum.

выработки четких профилактических мер в области школьного и дошкольного освещения.

Данная статья написана по результатам выступления двух первых авторов с докладом «Свето-биологическая безопасность и риски заболеваний глаз среди школьников в классах со светодиодными источниками света первого поколения» на научно-практической образовательной конференции «Офтальмология: сегодня-завтра», которая прошла 16.11.2017 г. в ГБУЗ МО МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского. Организаторы конференции хотели ознакомить офтальмологов Московской области с проблемой «синей опасности» для детских глаз.

В статье-интервью [1] медицинский директор сети офтальмологических клиник «Де визо» к. м. н. Александр Андреев, говоря о проблеме воздействия синего света на сетчатку при облучении ее неадекватным светодиодным светом отмечал, что (цитируем по [1]) «... проблема воздействия формально не стоит. Нет спроса со стороны социума, нет соответствующего «заказа» со стороны государства, практически отсут-

ствует обсуждение в сфере офтальмологического сообщества. Проблема излучения [на длинах волн – вставка наша] 440–460 нм в светодиодных светильниках в настоящее время завуалирована и недооценена, но она обязательно «выстрелит» в будущем, когда дегенеративные заболевания сетчатки резко «помолодеют»... государство озадачится в связи с потерей части трудоспособного населения и увеличения расходов на медицину». На возможную опасность спектров дисплеев у современных гаджетов также указывала д. м. н. Т.В. Ставицкая [2].

Это говорит о том, что у нас в стране уже есть достаточно много офтальмологов, которые по-настоящему понимают опасность происходящего.

1. Свет и глазные заболевания

Глазные заболевания могут возникать и развиваться у человека в ходе его обучения или трудовой деятельности, происходящих в искусственной световой среде. Современную световую среду формируют искусственные источники света (общее освещение и подсветка экранов устройств отображения информации). На рисунке 1 приведены типичные общеизвестные паттерны спектров современных источников света, которые создают световую нагрузку на зрительный анализатор человека. Вопросы отрицательного влияния спектра светодиодной подсветки мониторов изложены в статье «LED мониторы – «синяя опасность» [3].

Гигиенисты изучают спектр света и влияние его фотонного потока на глаза и здоровье человека. Радужный спектр солнечного света с гигиенически безопасной цветовой температурой вызывает адекватную реакцию функциональных систем, положительно влияя на здоровье и зрительный анализатор. **Биологически адекватный спектр излучения (БАСИ)** – это совокупность фотонных потоков, которая своим воздействием формирует матрицу отклика, обеспечивающую гармоничную работу функциональных элементов (клеток) зрительного анализатора и гормональной системы человека. Привычным БАСИ для человека является спектр солнечного света. **Биологически адекватная световая среда (БАСС)** – это такая световая среда, которая создана полупроводниковыми источниками белого света с биологически адекватным спектром для минимизации рисков ущерба здоровью человека на всех этапах его жизненного цикла.

При проведении сравнительного анализа дискретного спектра белого светодиода и непрерывного радужного солнечного света было установлено, что многочисленные современные искусственные источники света характеризуются повышенной амплитудой излучения синего света в области 450–460 нм и провалом в области сине-бирюзового света 480 нм. Причем амплитуда излучения синего света 450–460 нм превышает аналогичную дозу синего в спектре солнечного света при равной цветовой температуре и уровне

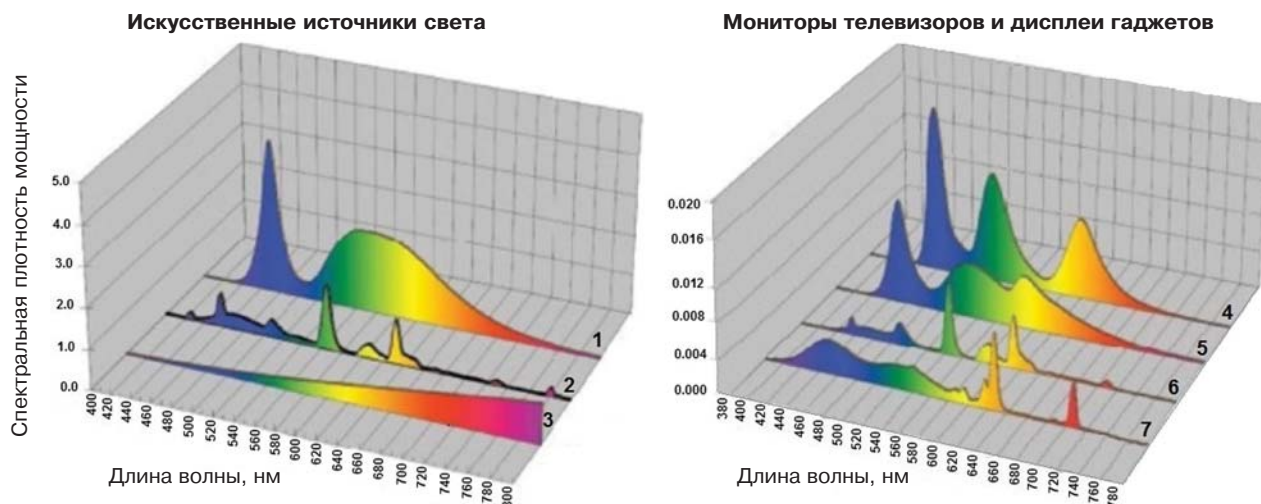


Рис. 1. Спектры источников белого света для общего освещения и для подсветки устройств отображения информации: **1** – светодиодные лампы, **2** – люминесцентные лампы, **3** – лампы накаливания, **4** – RGB-светодиодная подсветка, **5** – светодиодная подсветка, **6** – люминесцентная подсветка, **7** – электронно-лучевая трубка.

освещенности [3]. Это превышение дозы синего света мы определили как **«избыточную дозу синего»**. Провал в области сине-бирюзового света 480 нм в спектре светодиода приводит к тому, что диаметр зрачка глаза увеличивается больше, чем при аналогичном по уровню освещенности (яркости) солнечном свете [3]. На рисунке 2 приведены зависимости диаметра зрачка глаз от яркости при солнечном свете, при светодиодном свете и оценки производителя светодиодного освещения по разработанной им методике.

Следует отметить, что яркость 100 кд/м² (кандела на квадратный метр) является нормальной для рассеянного света. При этих значениях яркости светодиодного света зрачок глаза меньше закрыт, чем при солнечном свете. При понижении коррелированной цветовой температуры диаметр зрачка глаза увеличива-

ется, а из-за возрастания уровня абберраций глубина резкости уменьшается. Это говорит о том, что снижаются возможности удержания диаметра зрачка глаза в физиологически нормальном, более «закрытом» состоянии. А это влияет и на возможности обеспечения более качественного бинокулярного зрения и явно требует дополнительных усилий со стороны аккомодационной системы глаза. Именно в этом может быть основная причина прямого влияния некачественного освещения на развитие близорукости. Эффект «расширения зрачка» при воздействии СИС был описан двумя первыми авторами в статье «Нарушение меланопсинового эффекта сужения зрачка – фактор риска заболевания глаз» [4].

Как показано в статье [4], расширение диаметра зрачка в условиях искусственного освещения со спектром, неадекватным солнечному, также приводит к нарушению условий поддержания меланопсинового эффекта. Ресничная мышца вынуждена совершать дополнительную работу для поддержания качественного зрения, изменяя свой обычный тонус, что напрямую влияет на уровень увеосклерального пути оттока водянистой влаги. При этом могут нарушаться условия поддержания нормального уровня метаболизма в задней части глаза и особенно в сетчатке. Все это в совокупности при длительной зрительной нагрузке увеличивает риски возникновения глазных болезней в условиях современной световой среды. Кроме того, через расширенные зрачки весь избыточный поток синего света напрямую устремляется на сетчатку и попадает на край желтого пятна, которое служит защитой центральной части макулы, то есть туда, где ее плотность мала. Чем ниже плотность желтого пятна, тем выше вероятность возникновения окислительного стресса клеток сетчатки. Эффект краевого воздействия синего света изложен в статье [5].

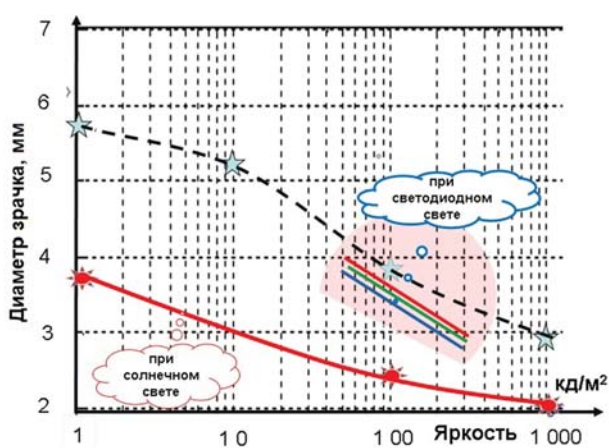


Рис. 2. Зависимость диаметра зрачка глаза от яркости при солнечном свете, при светодиодном свете и расчетной оценки производителя светодиодного освещения. Красная, зеленая и синяя линии – соответственно при светодиодах с температурой 6500, 4500 и 3000 К.

В докладе американца Дэвида Сили из Департамента наук об окружающей среде было уделено большое внимание фототоксичности «синего света» для сетчатки. Д. Сили также объяснил, что фототоксичность возникает, когда отдельные фотоны изменяют биологически критичные молекулы в сетчатке. К таким молекулам относятся молекулы антиоксидантной защиты и молекулы, которые образуются в ходе зрительного цикла (рис. 3) [6].

В работе [5] также было показано, что в ходе зрительного цикла образуется бис-ретиноилиден-этаноламин А2Е. Из-за воздействия избыточной дозы синего света происходит быстрое накопление количества крайне фототоксичного соединения А2Е, которое при воздействии синего света с длиной волны 450 нм генерирует активные формы кислорода (АФК). Это количество АФК не компенсируется антиоксидантами, каталазой, супероксиддисмутазой и глутатионпероксидазой 1 (GPX 1), чья эффективность существенно падает в условиях избыточной дозы синего света. Это увеличивает риски снижения сопротивляемости клеток к воздействию некомпенсированных активных форм кислорода и соответственно риски раннего заболевания зрительного анализатора.

В ходе проведенного анализа в работе [7] было установлено, что состав спектра света влияет на зрительный анализатор человека и его гормональную систему и что в спектре любого полупроводникового источника белого света в определенных соотношениях должны обязательно присутствовать следующие длины волн:

- 480 нм для адекватного управления диаметром зрачка глаза;
- 450 и 460 нм для обеспечения нормального функционирования биологических структур сетчатки глаза, включая выработку мелатонина;
- 380, 480, 497, 500 и 543 нм для синтеза родопсина из витамина А;
- 570, 540 и 440 нм для обеспечения нормальной работы пигментов; колбочек и палочек и синтеза требуемого уровня ретиноевой кислоты;
- 630 нм для положительного влияния на образование коллагена;
- 670 нм для положительного влияния на состояние митохондрий клеток [7].

Для данного перечня значимых длин волн по известным кривым Арндта – Шульца определяются оптимально достаточные уровни энергии, которые по возможности не должны быть меньше или больше значений солнечного света при выбранном уровне освещенности. Однако при **дискретных** спектрах, в отличие от непрерывного спектра, например, у ламп накаливания и у солнца при цветовой температуре меньше 4000 К, некоторые энергосберегающие СИС имеют



Рис. 3. Зрительный цикл по академику М. А. Островскому и др. [6].

более высокую мощность излучения на длинах волн 450 и 460 нм по сравнению с уровнем мощности излучения на 480 нм даже в условиях сине-фиолетового провала; а ведь именно в диапазоне 450–460 нм «работает» меланопсин. Наоборот, для источников белого света с **непрерывным** спектром (лампа накаливания, галогенная лампа и солнечный свет при гигиенически безопасной цветовой температуре менее 4000 К) в диапазоне 460–480 нм характерно относительное перераспределение характеристик: фотонный поток 460 нм меньше фотонного потока 480 нм. При сравнении спектральных характеристик СИС непрерывного и дискретного спектра в диапазоне работы меланопсина, содержащегося в ганглиозных клетках, имеет место их пересечение в виде креста. Это было определено нами ранее как «эффект меланопсинового креста» [8].

2. Физиологические и технические аспекты создания безопасных светодиодных источников света (СИС)

Для предотвращения «эффекта меланопсинового креста» необходимо соблюдать следующее условие: в спектре светодиода световой поток (общее число фотонов, т. е. мощность потока) синего света 460 нм должен быть меньше, чем световой поток сине-бирюзового света 480 нм. Это условие в сочетании с другими легли в основу серии патентных заявок в РФ в 2010–2011 г. Указанное выше соотношение, которое необходимо соблюдать при синтезе биологически адекватного спектра, полезно при проектировании полупроводникового источника белого света. На основании этого соотношения можно сформировать энергоспектральные характеристики безопасного полупроводникового источника белого света с биологически адекватным спектром излучения, подобным спектру солнечного света (то есть с гигиенически безопасной цветовой температурой менее 4000 К, при которой обеспечивается комфортная зрительная работа).

Проведенный анализ особенностей спектра светодиодного света и его возможного отрицательного влияния на заболеваемость глаз и здоровье человека по-

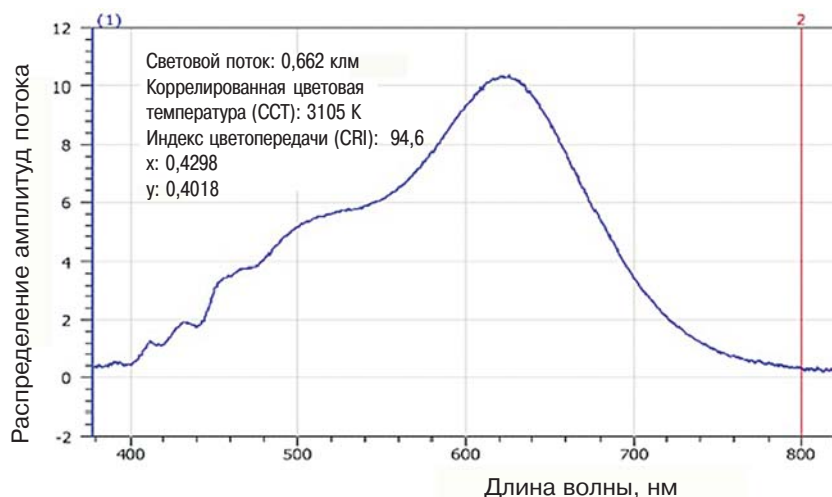


Рис. 4. Биологически адекватный спектр разработанного в ЗАО «ЭЛТАН» полупроводникового источника белого света с цветовой температурой 3105 K.

зволлил сформировать теоретические основы для разработки безопасных полупроводниковых источников белого света нового поколения, позволяющих обеспечить создание здоровой световой среды. На базе этого нового понимания восприятия света зрительным анализатором человека были сформулированы требования к люминофорному составу и к возбуждающему его светодиоду. В ходе выполнения работы «Разработка промышленной технологии производства энергоэффективных светодиодных источников белого света с биологически адекватным спектром излучения» специалисты ЗАО «ЭЛТАН» синтезировали соответствующие люминофоры и разработали полупроводниковый источник белого света, в спектре которого нет избыточного излучения по отношению к спектру солнечного света при цветовой температуре меньше 4000 K в области 460 нм и пониженного излучения (провала) в области 480 нм. Разработка защищена отечественными и зарубежными патентами, то есть официально обладает мировой новизной.

На рисунке 4 приведен измеренный спектр этой лампы. Данный спектр лишен недостатков, присущих стандартному белому светодиоду (синий кристалл, покрытый желтым люминофором), является непрерывным и по составу соответствует радужному спектру солнечного света при безопасной цветовой температуре 3000 K. В инициативном порядке ведутся работы по его усовершенствованию. Разработка защищена в России патентом с приоритетом от 2011 года [9], а также патентами Европы, Южной Кореи, США и Китая.

Фактически спектр света полупроводникового источника белого света ЗАО «ЭЛТАН» с биологически адекватным спектром повторяет спектр лампы накаливания, где в качестве излучателя применяется вольфрамовая нить, температура которой может достигать 2600–3000 K. Использовать в качестве нити накали-

вания вольфрам предложил русский электротехник А.Н. Лодыгин еще в 90-х годах 19 века. В 1890 г. он получил в США патент на электрические лампы накаливания с металлической нитью. В 1906 году Лодыгин был вынужден за гроши продать свой патент вольфрамовой лампы компании General Electric. Парадоксально, но именно в России спустя век был изобретен полупроводниковый источник белого света (лампа) с аналогичным спектром излучения, который лучше, чем у лампы накаливания, и на порядок эффективнее по энергосбережению [9].

Сейчас полупроводниковые источники белого света, изготовленные по светодиодной технологии, активно продвигаются на мировом

светотехническом рынке. Эра светодиодного освещения наступила с того момента, когда японец Сюдзи Накамура (Нобелевский лауреат по физике 2014 года) получил первый синий светодиод, покрытый желтым люминофором, который излучал белый свет с дискретным спектром излучения. **Однако спектр этого светодиода существенно отличался от непрерывного солнечного спектра и спектра лампы накаливания.** По данным экспертов Министерства энергетики США, такие светодиоды первого поколения уже применяются в 6% осветительных установок в стране. Эти эксперты считают, что, «*поскольку количество СИС стремительно растет, эти продукты должны исключать негативное влияние на физиологию человека [10]. СИС должны иметь длительный срок эксплуатации, измеряемый десятилетиями. Поэтому настало время провести исследование и дать рекомендации по выбору энергосберегающего, но безопасного для человека типа светодиодного освещения, за которым, безусловно, будущее. Чтобы сравнивать характеристики различных СИС по их цене и техническим деталям и выбирать освещение, наиболее полезное для человека и задач энергосбережения, необходимо научиться количественно оценивать СИС с помощью стандартизированных показателей*» [11].

Из всего многообразия технических решений по изготовлению светодиодов, излучающих белый свет, наибольшее распространение получили технологии с преобразованием излучения, возбуждаемого синим светодиодом (РС-светодиоды или PC LED), в излучение от желтого люминофора, покрывающего этот светодиод. На рисунках 5 и 6 приведены для сравнения общеизвестные спектры солнечного света и РС-светодиода.

Вся физиология зрения в животном мире сформировалась в условиях непрерывного спектра солнечного света. Спектр белого света, в котором присут-

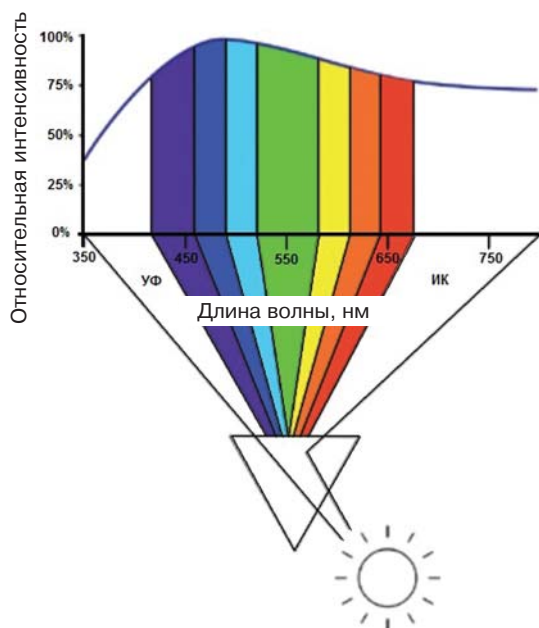


Рис. 5 . Спектр солнечного света («Каждый охотник желает знать, где сидят фазаны»)

ствуют все составляющие цвета солнечного света, относится к непрерывному спектру. Спектр светодиодного белого света первого поколения, в котором отсутствуют отдельные спектральные линии, относится к дискретным (линейчатым) спектрам. По определению, дискретность – свойство, противопоставляемое непрерывности.

Из рис. 5 и 6 хорошо видно, что спектры Солнца и СИС первого поколения с большой избыточной долей синего света кардинально отличаются. Поиск безопасного для человека светодиодного освещения с дискретным спектром белого света стал целью многочисленных исследований в медицинских и светотехнических центрах США и стран Европы; у нас их пока очень мало [12-14]. К сожалению, российские производители современных небезопасных СИС сегодня используют мощный административный ресурс для продвижения своей продукции в регионах, но не поддерживают качественные и достоверные офтальмологические исследования по видеобезопасности для школьных и дошкольных учреждений.

Итак, по сравнению с солнечным светом, который имеет непрерывный спектр излучения, светодиодные лампы имеют характерное мощное излучение в области синего света (450–460 нм) и провалы в области сине-бирюзового света (480 нм); при этом спектр является неполным по составу относительно спектральных линий солнечного света. В диапазоне длин волн 450–460 нм и 480 нм возникают специфические реакции ганглиозных клеток сетчатки глаза, для функционирования которых необходимы нормальные уровни фотонных потоков (мощности света) [15].

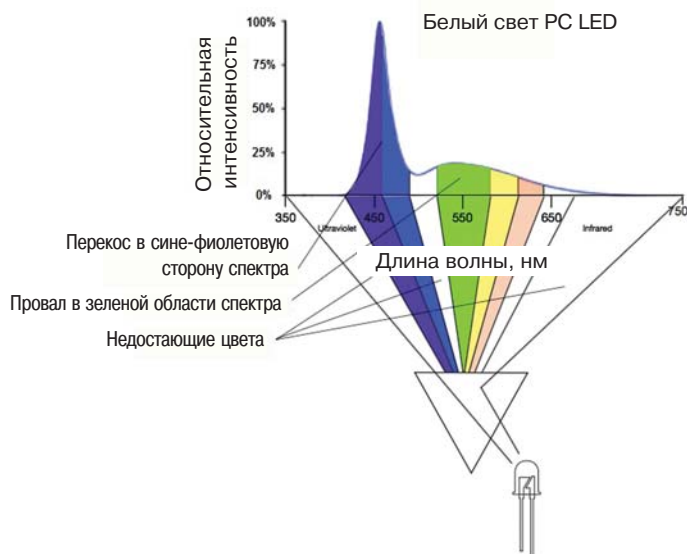


Рис. 6. Спектр светодиодного источника света («Охотник желает знать, где сидят...»)

Массовое применение РС-светодиодов на базе синего светодиода, покрытого желтым люминофором, обусловлено тем, что данные технологии имеют высокие показатели световой эффективности (световую отдачу ($\eta_{\min}$) – отношение излучаемого источником светового потока к потребляемой им мощности; измеряется в люменах на ватт (лм/Вт)). Чем выше значения показателя $\eta_{\min}$, тем лучше обеспечиваются потребности общества в энергосбережении. Фактический и прогнозируемый уровни световой эффективности, т. е. выбросы и провалы у модифицированных СИС и СИС первого поколения с дискретным техно-

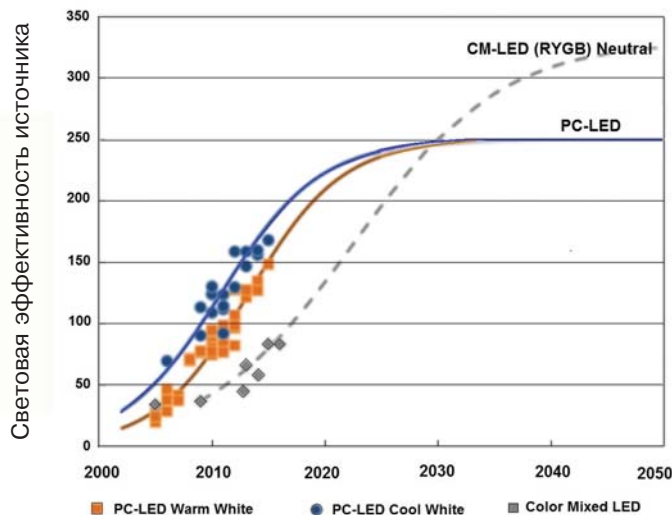


Рис. 7. Достигнутые и прогнозируемые уровни световой эффективности часто применяемых светодиодов: *синие кружки* – холодные белые (5700 К) PC-LED; *оранжевые квадраты* – теплые белые (3000 К) PC-LED; *серые квадраты* – cm-Led (RYGB)

логическим спектром излучения, которому присущи вышеуказанные недостатки, приведены на рисунке 7.

Кратко поясним подрисуночные термины для того, чтобы понимать надписи на товарных упаковках этих СИС при их продажах в розничной сети. Цветовая температура света – это цветовой оттенок света, испускаемого черным телом, нагретым до разной температуры по шкале Кельвина (К). Например, если черный чугунок накалил до красного цвета при температуре 2700–3000 К, то мы получим тепло-белый свет. А если чугунок нагреть до температуры 5700 К, мы получим уже сине-голубой цвет, и при этом чугунок будет испускать холодно-белый свет. Технология *cm-LED* – это смешение света цветных светодиодов (*color mixed-LED*, RGB или RYGB). В полученном спектре белого света этих новых «теплых» СИС уже есть физиологически необходимый уровень излучения в области 450 и 460 нм и провал в области 480 нм. Министерство энергетики США считает, что теплые белые светодиоды достигнут одинаковой световой отдачи по сравнению с холодно-белыми светодиодами к 2025 году.

В опубликованном ежегодном плане департамента энергетики (DOE) по исследованиям и разработкам в области твердотельного освещения (SSL) представлены два документа: «Предлагаемые темы исследований в 2017 году» [10] и «Дополнение к 2017 году» [11]. Последний документ [11] содержит прогнозы DOE об улучшениях эффективности и экономии энергии, в то время как первый [10] кратко определяет конкретные области, в которых необходимо проводить углубленные исследования в области твердотельного освещения SSL для устранения противоречий между энергоэффективностью и безопасностью световой среды у СИС с дискретным спектром белого света.

Это связано с тем, что по мере повышения параметра световой эффективности у источников белого света *pc-LED* и *cm-LED* (RYGB), а также из-за увеличения времени пребывания человека под воздействием этого искусственного света усиливается отрицательное воздействие дискретного спектра на физиологические системы человека, включая зрительную. Без решения проблемы **гигиены света** трудно определить безопасную стратегию развития полупроводниковых источников белого света с дискретным спектром излучения, предназначенных для общего освещения. Стратегия программ энергосбережения на базе СИС формируется и контролируется министерствами энергетики стран, в которых утверждены соответствующие государственные программы. В России этот вопрос находится под постоянным контролем и уже регулируется постановлением Правительства РФ от 10 ноября 2017 г. № 1356Т, в котором утверждены «Требования к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока в целях освещения».

К сожалению, во многих странах, как и в нашей стране, производители небезопасных для человека СИС первого поколения для расширения рынка продаж привлекают к своим заказным исследованиям работников разных сфер здравоохранения (но не профессиональных офтальмологов уровня главных специалистов страны, округов и регионов), чтобы те давали положительные заключения о безопасности продукции. При поверхностном взгляде такой «научный» подход кажется вполне оправданным. Однако при постановке задач этих исследований не учитываются возможные ближайшие и отдаленные аспекты взаимосвязанного функционирования внутриглазных систем при негативном воздействии излучения СИС. Кроме того, выводы о безопасности СИС часто делаются на основе данных, полученных за короткое время наблюдений (не более 1 года) и с помощью не вполне корректных методик исследования [16–19].

В отчете [10] за 2016 г. Департамента энергетики Министерства энергетики США по итогам совещания «Физиологические ответы на свет» говорится: «17 экспертов с мировым именем пришли к выводу, что для создания рыночного, здорового светодиодного освещения и минимизации факторов риска, связанных с внедрением светодиодов, необходимы новые показатели качества света и определение здоровой дозировки освещения. Это позволило бы скоординированно проводить исследования, которые помогли бы уточнить, что происходит, когда фоторецепторы получают разные уровни световых сигналов (в виде потока фотонов); как лучше всего применять свет, чтобы помочь контролировать циркадную и нейрофизиологическую регуляцию, а также уменьшить риски, связанные со световыми суточными расстройствами, депрессией, ожирением, раком и повреждением глаз. Эксперты также отметили, что для определения того, может ли длительная экспозиция светодиодного света вызвать проблемы, требуются дополнительные исследования» [10].

В частности, эксперт Шланген (США) указал, что необходимы дополнительные исследования новых величин для оценки интенсивности взвешенного освещения фоторецептора. В настоящее время Международная комиссия по освещению (CIE) работает над подготовкой стандарта интенсивности света, который определит дозу освещения для нескольких невидимых световых ответов и укажет, какие дневные и ночные световые эффекты способствуют здоровью и благополучию [10]. Эксперт Фред Максик из компании Lighting Science Group (LSG) обратил внимание на важность для общественности всех возможных результатов при открытии новых физиологических эффектов, а также о компромиссах по адаптации света, воздействующего на людей. Он подчеркнул, что необходимо рассмотреть все аспекты проблемы, прежде чем резко изменять характер освещения путем массового внедрения светодиодов. В ходе своих исследований Фред Максик пришел к следующему выводу:

«Необходимо определить конкретные световые характеристики, которые следует усилить или устранить. Важно рассмотреть вопрос о разработке источника света (синтеза его спектра), воздействие которого оказывало бы минимальное негативное влияние на здоровье человека. Министерство энергетики может помочь в дальнейшем исследовании, финансируя работу, которая позволит лучше понять, какое освещение безопасно для здоровья и как его можно реализовать в реальном мире. В основном эксперты США заняты работой с циркадными ритмами путем уменьшения мощности синего излучения» [10]. Многие эксперты в США считают, что для достижения полного потенциала твердотельного освещения (SSL) необходимы дальнейшие исследования [11,18].

В отчете [4] ведущий американский эксперт в разделе 1.2 «Области исследований приоритетов светодиодов» выделяет особо важные приоритетные задачи в области НИОКР. В таблице 1 приведены диапазоны различных цветовых длин волн и значения терминов цветовой температуры, позволяющие достичь этих значимых результатов. Законы светотехники показывают, что, если смешать свет, излучаемый синим, зеленым, янтарным и красным светодиодами, то получится белый свет с дискретным спектром, которому присущ отрицательный эффект меланопсинового креста. **Именно такой белый свет излучают все экраны планшетов и мобильных телефонов.** По нашим оценкам, белый свет с таким отличным от солнечного спектром будет отрицательно влиять на состояние зрительного анализатора человека и его здоровье в целом. На эту опасность также обращали внимание и другие отечественные офтальмологи [2,21]. В редакционной статье «Фотобиологическая проблема современного искусственного освещения» [22] приводятся слова одного из экспертов: «Нашим медикам лучше бы ориентироваться на мнение медиков ЕС: «Европейский научный комитет по рискам для здоровья (SCENIHR). Заключение по рискам источников освещения за 2012 и 2017 годы».

Таблица 1. Предложения экспертов для исследований по повышению эффективности СИС sm-LED (RYGB) [4].

Цветовая гамма	Диапазон длин волн
Синий	440–460 нм
Зеленый	520–540 нм
Янтарный	580–595 нм
Красный	610–620 нм
Теплый белый	3000 К
Холодный белый	5700 К

В авторской статье «Выбор концепции построения безопасной и энергосберегающей системы освещения «Не имеющий стратегии – жертва чужой тактики!» [15] было отмечено, что «европейская комиссия 15.12.2011 г. обнародовала документ «Зелёная книга. Освещение будущего. Ускорение внедрения инновационных технологий освещения». В этой книге в разделе «SSL: новый взгляд на освещение», отмечается следующее:

- раздел 2.2 – «государства несут ответственность за безопасность светодиодной продукции, продаваемой на светотехническом рынке Европы»;
- в подразделе «Проблемы биологической безопасности («синий свет опасности»)» эта проблема поднята в связи с воздействием светодиодного света на сетчатку глаза человека и обусловлена большой долей синего в общем спектре белого светодиода».

При этом предварительные рекомендации Научного комитета SCENIHR по новым и вновь выявленным рискам для здоровья были таковы: **«рассмотреть меры для уменьшения злоупотребления искусственным освещением в целом»** [13].

Из отчета SCENIHR за 2011–2012 гг. следует, что производителям светодиодного освещения достается прибыль, а государству – ответственность за выплаты за инвалидность по зрению, объемы которых с каждым годом возрастают. В 2012 г. на решение проблем с нарушением зрения в США потрачено около 140 млрд долларов, и эти расходы будут продолжать стремительно расти, если выход не будет найден. В докладах на Третьем ежегодном национальном саммите «Здоровье глаз» говорится, что на решение проблем, связанных со зрением, в 2050 году потребуется около 377 млрд долларов.

Врачи-офтальмологи отмечают, что «пандемия близорукости» грядет на фоне тотальной компьютеризации и массового внедрения энергосберегающего освещения с избыточной дозой синего света в спектре. Это отметили 16.11.17 и наши ведущие офтальмологи на научно-практической образовательной конференции МОНИКИ «Офтальмология: сегодня-завтра». Но производители светодиодного освещения не обращают внимания на эту опасную тенденцию и для увеличения прибыли ищут все новые доводы для наращивания объемов продаж СИС первого поколения с дискретным спектром белого света. Парадоксально, но даже многие офтальмологические центры в нашей стране используют энергосберегающие и светодиодные лампы первого поколения с качественно не исследованным на безопасность спектром. В условиях этого «синюшного освещения» проводятся оптометрические осмотры и процедуры, комплексные обследования, лечение детских офтальмопатологий...

6 июля 2017 года Научный комитет по здоровью, экологическим и новым рискам (SCHEER), в котором состоят независимые ученые со всего мира, стремящиеся работать в интересах общества, опубликовал

предварительное заключение «Потенциальные риски для здоровья человека световых диодов (светодиодов)». В этом документе рассматривались белые светодиоды (синий кристалл – желтый люминофор). Согласно регламенту SCHEER, предварительное заключение формировалось рабочей группой по светодиодам с привлечением экспертов из других рабочих групп. В основу отчета был положен обзор литературы, статьи [23,24] и доклад Джона О'Хагана (члена Рабочей группы по светодиодам, сотрудника агентства «Общественное здравоохранение Англии»). **Эксперты SCHEER отнесли детей (от 3 лет и старше), подростков и пожилых людей к группе риска поражения повышенной дозой синего в спектре белого света PC-LED [25].**

Но в разделе 6.5 «Основы глазной оптики» этого же исследования [25] другие эксперты-оптометристы SCHEER отмечают: *«Несмотря на то, что нет надежных данных, позволяющих оценить риск для здоровья при использовании светодиодных источников света, может возникнуть некоторая обеспокоенность в связи с потенциальными негативными последствиями излучения светодиодов, особенно у восприимчивой части популяции, в которой уже замечены ранние признаки патологического старения макулы. Однако следует подчеркнуть, что проблемные результаты были получены при экспериментах на животных или моделях культуры клеток, с использованием уровней воздействия, превышающих те, которые, вероятно, будут достигнуты при практическом применении светодиодных осветительных систем».* Неявный призыв этих экспертов проводить подобные испытания, часто многолетние, не только на животных, но и на детях, безусловно, заслуживает порицания. Их даже не смущает, что базовые документы по фотобиологической безопасности давно получены в результате испытаний на приматах (W.T. Nam и соавт., 1976 [26]).

Следуя законам рынка, производители светодиодного освещения, как правило, озвучивают только благоприятную для них первую часть выводов SCHEER, лукаво замалчивая вторую часть. А она гласит: *«Воздействие оптического излучения белых светодиодов может привести к серьезному повреждению наружных слоев сетчатки при высоких уровнях воздействия. Спектральное распределение мощности (SPD) и облучение являются факторами риска, которые способствуют фотохимическому повреждению сетчатки. Чтобы предотвратить или уменьшить этот эффект, следует использовать для внутреннего освещения лампы с меньшей долей синего света» [25].*

Да, прямых доказательств нет, так как никто еще не проводил на детях прямых экспериментов по изучению длительного или краткосрочного влияния светодиодного освещения на состояние зрительного анализатора. Однако небезопасная зрительная среда СИС, не ограниченная требованиями гигиены света, безусловно, плохо проявит себя в будущем. Отложен-

ное проявление характерно для многих болезней глаз. Именно эффект «накопленных дефектов» приводит к близорукости, катаракте, глаукоме, возрастной дегенерации сетчатки и макулы. Исследования, проведенные офтальмологами в Южной Корее, в условиях многочасового использования дисплеев и массового применения компактных люминесцентных и светодиодных ламп, показали ужасающий результат: у 96,5% всех 19-летних мужчин призывного возраста диагностирована миопия [27,28].

В опубликованном в журнале «Полупроводниковая светотехника» интервью с к. м. н. Александром Андреевым (медицинским директором сети офтальмологических клиник «Де визион» и медицинским советником директора ООО «Техносистема НТ») говорится следующее: *«Несмотря на доказанную роль вредного синего в патогенезе возрастной макулярной дегенерации и давно налаженное производство интраокулярных линз с желтым фильтром, офтальмохирурги продолжают имплантировать хрусталики без фильтра, особенно по бесплатным медицинским программам, поскольку они дешевле. И никто не запрещает это делать. Такая же двоякая ситуация со светодиодами: с одной стороны, многие потребители и производители не знают о риске, который несет излучение 440–460 нм; с другой стороны, контакт с представителями отраслевого бизнес-сообщества приводит к пониманию того, что вопрос воздействия на здоровье для них является одним из последних. Крупные потребители, с которыми приходилось общаться, – директора парков отдыха, отельеры, чиновники, – хотя и осознают важность обозначенных рисков, признают доминирующую роль экономической составляющей при закупках. Желание заработать и сэкономить стало определяющим в действиях большинства людей» [1].*

Уже во многих статьях [15,29,30] обсуждалась некорректность некоторых исследований безопасности СИС, проводимых достаточно поверхностно по заказу производителей СИС [16–19]. А ведь на основе результатов этих исследований корректировались СанПиН...

Вопрос оценок фотобиологической безопасности по методике ИЕС 62471:2006 был рассмотрен в статье «Светодиодное освещение и фотобиологическая безопасность», опубликованной в сборнике под редакцией д. м. н. проф. А.Ю. Поповой и представленной на Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы организации контроля и надзора за физическими факторами», которая была организована ФНЦ гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана 25–26 мая 2017 года [31]. Это говорит о том, что в нашей стране общество начинает понимать опасность некачественного освещения с помощью СИС первого поколения.

Однако даже некоторые ведущие институты в области охраны здоровья и зрения иногда публикуют не вполне адекватные результаты исследований, заказанных производителями. Например, в 2017 году специ-

алисты Исследовательского центра по освещению (LRC) в Политехническом институте Ренсселаера (США), ведущем мировом центре исследований и образования в области освещения, опубликовали результаты своей работы по оценке фотобиологической безопасности источников света. Исследователи из LRC Джон Буллоу, Эндрю Биерман и Марк Ри оценили спектральные характеристики мощности ламп накаливания, флуоресцентных, светодиодных и ламп «дневного света». Особенно принимались во внимание текущие процедуры расчета опасности синего света. При этом спектральные лучистые характеристики мощности ламп накаливания (2700 К), флуоресцентных, светодиодных и «дневных» оценивались с точки зрения опасности синего света с использованием стандартных процедур для факических, афакических и псевдофакических глаз.

Эти эксперты считают, что в большинстве случаев использования светодиодов имеется **небольшой риск** опасности синего света, поскольку они обычно производят мало энергии ультрафиолета и представляют меньший риск для афакических глаз. По результатам проведенных оценок эксперты LRC сделали следующие выводы. В типичных случаях использования светодиодов якобы не нужно особо беспокоиться из-за опасности синего спектра, поскольку фотофобные реакции в принципе ограничивают воздействие ярких источников света. Осторожность необходимо соблюдать лишь в тех случаях, когда эти реакции могут не возникать (например, у пациентов после хирургических глазных операций или недоношенных детей) или когда люди подавляют эти реакции (например, у актеров сцены). Исследователи не нашли четких доказательств риска повреждения сетчатки человека «в результате долгосрочного воздействия синего света, недостаточного для достижения пороговых значений опасности». Они пишут: «Ортодоксальные процедуры [IEC 63471:2006 и CIE для расчета синей опасности] основаны на ограниченных данных, в то время как анализы и результаты, представленные здесь, основаны на современных сведениях... Важно понимать, что в этих процедурах не рассматривался вопрос о том, связано ли хроническое воздействие коротковолнового света при более низких интенсивностях с повреждением сетчатки у людей и необходимы ли дальнейшие эксперименты на животных и особенно приматах». Отметим, что в итоге вывод этих экспертов таков: проблема раздута, СИС безопасны, исследований по гигиене такого света не требуется, поэтому вперед к прибибли! Бог им судья...

Если мы правильно поняли д. б. н. Павла Зака (ИБХФ им. Н.М. Эммануэля РАН), участника отечественной дискуссии по фотобиологической проблеме современного искусственного освещения [31], он считает, что требования ГОСТ-Р МЭК 62471-2013 (IEC 63471:2006) по энергетической экспозиции не обоснованы, так как бездумно скопированы со стан-

дартов по лазерной безопасности, что не одно и то же. В лекции «Синий свет. Обзор доказательств потенциальных преимуществ и вреда синих фильтрующих линз», прочитанной в марте 2016 года в Лондонском университете, проф. Джон Лоуренсон (имеет ученые степени в области биохимии, оптометрии и санитарии) также предлагает пересмотреть нормы опасности синего света, введенные в 1976 году [32].

Одновременный выход ряда сомнительных статей и отчета SCHEER, в которых почему-то по одинаковой методике сравнивают синий светодиод, белый светодиод, лампу накаливания с разной цветовой температурой от 2500 до 5000 К и солнечный свет с цветовой температурой 10000 К говорит о том, что поиск возможных последствий воздействия светодиодного освещения с дискретным спектром продолжается, но часто не вполне корректно. А введение групп риска говорит о том, что данная концепция принципиально ограничивает возможности нормирования и обеспечения безопасности здоровья человека. И явная подтасовка результатов подобных исследований к науке отношения не имеет.

3. Сравнительная безопасность применения СИС первого поколения в РФ и за рубежом

Воодушевленные разрешением Главного государственного санитарного врача РФ на применение СИС первого поколения, а также некорректными оценками их фотобиологической безопасности со стороны некоторых отечественных и зарубежных экспертов, разработчики медицинского оборудования для родильных домов и бэби-боксов перинатальных центров стали применять светодиодное освещение и синие светодиоды. Одна из таких разработок с синей подсветкой для бэби-бокса в перинатальном центре приведена на рисунке 8.

В статье [33] отмечается, что «**сине-световая фототерапия** [!] на протяжении десятилетий является важным терапевтическим инструментом в лечении неонатальной желтухи. Нередко это сопровождалось



Рис. 8. Пример освещения бэби-бокса светильником синего света

острыми дерматологическими и системными побочными эффектами; но, к счастью, они были обратимыми и их можно было адекватно и быстро исправить в обычной неонатальной практике. Напротив, гораздо меньше известно о потенциальных долгосрочных побочных эффектах неонатальной сине-световой фототерапии (NBLP). Многие доступные в настоящее время данные о том, как NBLP влияет на развитие меланоцитарного невуса (MN), противоречивы. Результаты недавних эпидемиологических исследований показывают, что NBLP вполне может быть фактором риска образования MN; подчеркивается необходимость дополнительных исследований *in vivo* и *in vitro*. NBLP в настоящее время является основой лечения новорожденной желтухи, но в будущем больше внимания следует уделять его долгосрочным побочным эффектам при указанной фототерапии. Необходимо подчеркнуть важность надлежащим образом ограниченных и адекватных клинических рекомендаций и строгий контроль управления гипербилирубинемией во избежание чрезмерного облучения новорожденных детей. Благодаря ограниченному протоколу лечения распространенность краткосрочных побочных эффектов в настоящее время очень низкая. Эти незначительные и временные осложнения включают ожоги кожи, эритематозную сыпь на коже, пурпуровые и буллезные извержения, **повреждение сетчатки [!]**, терморегуляторную нестабильность, раздражительность, сытухий стул, обезвоживание, трудности с кормлением и синдром «бронзового ребенка» [жирный шрифт наш].

Значительные побочные эффекты, которые NBLP оказывает на неонатальный глаз, хорошо известны в клинической практике: случайное воздействие может вызвать периокулярную эритему кожи, бактериальную инфекцию и даже фотокератит. Это повреждение эпителия роговицы – следствие прямого воздействия лучей на переднюю поверхность глаза.

Фотолапаж сетчатки у приматов изучался в исследовании Месснера и др. [33]. Новорожденные обезьяны постоянно подвергались воздействию высокоинтенсивного флуоресцентного света. Животные могли открывать и закрывать свои веки по желанию во время экспозиции. Сетчатка приматов новорожденного была повреждена, причем морфологическое подтверждение было получено уже через 12 часов экспозиции (самый короткий интервал исследования). С увеличением периодов воздействия повреждение сетчатки стало еще более обширным [33].

Проф. И.Ю. Кузьмина из Харьковского национального медицинского университета отмечает в работе [34]: «В прошлом ученые считали, что физическая среда отделений интенсивной терапии новорожденных не влияет на их развитие. Однако в последнее время проведены экспериментальные исследования на животных, подтверждающие неблагоприятное влияние факторов окружающей среды (повышенные уровни шума и освещения, присутствующие в некоторых

ОИТН), приводящие к нарушению циркадных ритмов, сна и развития головного мозга. Шум, громкие и неожиданные звуки, яркое освещение вызывают физиологические и поведенческие нарушения недоношенных детей и могут нанести вред всему организму ребенка. На основании исследования состояния новорожденных мы пришли к выводу, что одновременное воздействие повышенного уровня шума и яркой освещенности у новорожденных 1-й группы приводит к отставанию восстановления жизненно важных функций организма по сравнению с новорожденными 2-й группы: нормализация состояния центральной нервной системы происходит на 6 дней позже, в организме возникает мышечный тонус по типу гипотонии с задержкой на 7-й день пребывания в ОИТН. Одновременное воздействие повышенных уровней шума и яркой освещенности увеличивает время восстановления нормального мышечного тонуса рук на 5 дней, нормального мышечного тонуса ног – на 7 дней, появление сосательного рефлекса и потягивания – на 7 дней. Восстановление центральной нервной системы происходило на 2 недели позже у недоношенных новорожденных 1-й группы по сравнению со 2-й».

В соответствии с руководством ICNIRP (Международной комиссии по неионизирующей радиационной защите) избыточная доза синего света воздействует на кровеносную систему. Сотрудниками отдела фотохимии и фотобиологии ФГБУН «Институт биохимической физики им. Н.М. Эммануэля» РАН были проведены исследования влияния синего света на функциональную активность структур гематоретинального барьера кровеносной системы глаз японских перепелов *Coturnix japonica*. И было выявлено, что в условиях синего света эта активность снижается [12,13].

Джон Маршалл, профессор лондонского Института офтальмологии и один из ведущих британских специалистов, в своей новой статье пишет, что **«даже при низкоуровневом освещении, хоть и в течение очень длительных периодов (часов, дней, месяцев) также происходит повреждение сетчатки»** [35]. В заключение он подчеркивает, что:

- сине-фиолетовый свет оказался более опасным, чем другие длины волн;
- в нескольких исследованиях было продемонстрировано, что волны сине-фиолетового света с высокой энергией вплоть до 455 нм фототоксичны для сетчатки;
- у светодиодов наблюдается излучение в синем спектре, которое достаточно интенсивно, чтобы оказывать кумулятивное отрицательное воздействие в течение жизни человека.

Кроме того, во время вечерней работы синий свет отрицательно влияет на биологические ритмы человека, вызывает резистентность к инсулину и ожирение. В июле 2017 г. на конференции «Освещение для здоровья и благополучия» в Ньюпорт-Бич выступил д-р Мартин Мур-Эде, бывший профессор Гарвардской медицинской школы и генеральный директор

Circadian Light. В докладе «Причины ожирения и риск диабета из-за света в ночное время» он подробно описал эту проблему и убедительно показал, что ее можно решить, перейдя на «циркадно-дружественный» свет с уменьшенной синей энергией.

Сравнительные исследования проводились с применением обычных светодиодных ламп и светильников CIRCADIAN® производства Circadian Light. В этих LED-светильниках для промышленных и коммерческих предприятий интенсивность синей части спектра интеллектуально регулируется в зависимости от времени суток и сезона, чтобы повысить четкость зрения и продуктивность работы, а также исключить вредное воздействие синего света в вечернее и ночное время. У обычного светодиодного света в диапазоне 3000–4000 К имеется 15–25% биоактивных синих волн, которые оказывают значительное влияние на здоровье и производительность труда. В вечернее время это повышает риск диабета, ожирения, рака и депрессии. Схема управления в светильниках Circadian Light позволяет получать «непрерывный» белый свет с плавным, незаметным переходом от дневного к ночному режиму».

В основу разработки положены исследования, проведенные сотрудниками медицинского центра Circadian Light. Целью было точно определить идеальный спектр света, не вредящий здоровью и производительности труда, и создать инновационные индикаторные чипы для светодиодов. Для этого руководство центра наняло дизайнеров и экспертов по люминофорам. В ходе постепенного тестирования и оптимизации фирменных чипов, установленных в световые приборы центра, выяснилось, что можно в 5 раз увеличить эффективность биологического влияния белого света в диапазоне 3000–4000 К на выработку мелатонина. Это и стало точным показателем правильного распределения полос спектра и интенсивности освещения: они варьируются в зависимости от времени суток. В результате светильники Circadian Light позволяют точно контролировать дозировку биоактивных синих лучей.

В статье [36] по итогам конференции «Освещение для здоровья и благополучия» говорится о правильной цветовой температуре, но также подчеркивается исключительная важность мощности искусственного и естественного света (и их правильного сочетания) для освещения помещений. Для обеспечения здорового образа жизни американский Институт сертификации зеленого строительства (IWBI) разработал новый строительный стандарт под названием WELL. После введения в систему сертификации LEED он определяет правила построения интерьеров, отвечающих медико-санитарным требованиям. Согласно новому стандарту, все здания оцениваются по 7 параметрам: освещение, комфорт, воздух, вода, питание, физическое состояние человека и настроение.

Для сравнения: Министерство труда и социальной защиты РФ своим приказом от 24 января 2014 года № 33н утвердило «Методику проведения специальной оценки условий труда». Согласно этой методике, из контролируемых ранее нескольких параметров с требованиями к безопасной освещенности рабочего места оставлен лишь один: **уровень освещенности!** Другие же важнейшие гигиенические требования к освещению, которые ранее учитывались на протяжении многих лет, были изъяты. Хотя в соответствии со ст. 37 Конституции РФ «каждый гражданин имеет право на труд в условиях, отвечающих требованиям безопасности и гигиены». Этот ведомственный приказ Минтрудсоцзащиты фактически открыл широкую дорогу к использованию в РФ первых поколений СИС при отсутствии достоверных исследований их безопасности для зрения и здоровья человека.

Освещение – самый главный критерий WELL, так как количество света влияет на биоритмы, а значит, и на работоспособность человека. WELL Building Standard® стремится учитывать гораздо больше физиологических и фотобиологических требований к освещению в зданиях по сравнению с обычными рекомендациями. Учитывается не только острота зрения и нежелательность бликов, но и важная роль ганглиозных клеток ipRGCs, которые влияют на формирование изображения и циркадные эффекты.

Реализация концепции Human Centric Lighting (англ. «освещение, ориентированное на человека») в России [37] отличается от концепции Circadian Light по глубине проработки медицинских аспектов и технических решений. **На повестке дня стоит главный вопрос: «выбор правильного белого света», безопасного и комфортного для людей всех возрастных групп.**

«Глаз нельзя понять, не зная Солнца. Вот почему глаз солнечен, по словам поэта», – такими словами заканчивает Сергей Иванович Вавилов свою замечательную книгу «Глаз и Солнце» [38]. В ходе всей эволюции глаза человека настраивались на теплый спектр дневного светила. Доктор David H. Sliney, эксперт армии США по физиологическим эффектам светодиодов, лазеров и других ярких источников света, пишет: «У нас есть особенно сильная реакция отвращения к ярко-синим источникам света, в том числе к голубовато-белому свету. Зрачковый рефлекс находится в синей части спектра. От синего света приходит самый сильный сигнал к мышцам в радужной оболочке глаза, чтобы закрыть зрачок» [39]. Также автор отмечает, что для защиты глаз очень важны ганглиозные клетки, которые позволяют удерживать зрачок маленьким, в то время как палочки и колбочки могут только кратковременно сужать зрачок (и из этого состояния он снова расширяется примерно за 10 секунд). Размер зрачка на улице при дневном освещении, равный примерно 2,0 мм, поддерживается именно фоточувствительными ганглиозными клетками, в то время как

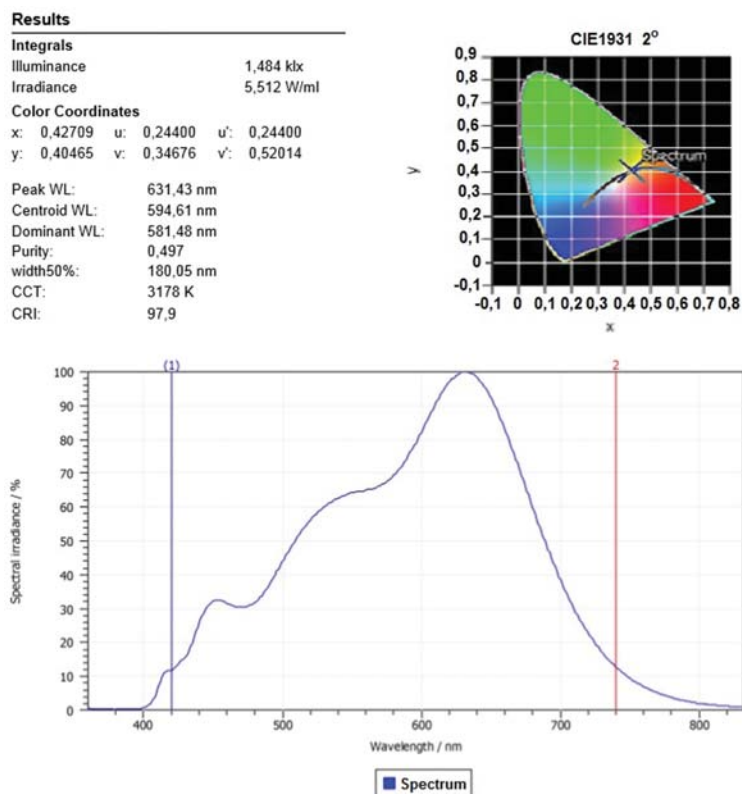


Рис. 9. Спектр белого света японского светодиода SAWS1566A SunLirs MJTCOB

верхнее веко защищает расположенную ниже часть сетчатки. Из истории искусственного света д-р Слайни делает такой вывод: **«Идите по пути применения естественного света как можно дальше»**. Иными словами, создавайте и используйте СИС с биологически безопасным спектром, близким к спектру Солнца.

Приятно отметить, что сегодня не только в России, но в таких странах, как Япония и Южная Корея, ученые добились успеха в синтезе полупроводниковых излучателей **белого света со спектром, подобным солнечному**. В Японии фирмой Toshiba Material Co., LTD уже созданы светодиоды по технологии TRI-R: комбинация фиолетовых кристаллов и люминофоров позволяет синтезировать светодиоды со спектрами, близкими к спектру солнечного света с различной цветовой температурой, и устранить недостатки, характерные для традиционных светодиодов. На рисунке 8 представлены результаты экспресс-оценки спектра светодиода SAWS1566A SunLirs MJTCOB, изготовленного по данной технологии. Из рисунка 9 видно, что в спектре таких светодиодов устранен провал на 480 нм и отсутствует избыточная доза синего света 450 нм. Светодиоды SAWS1566A излучают свет, подобный солнечному, с уменьшенной долей опасного синего света, цветовой температурой 3178 К и показателем цветопередачи CRI, равным 97,9.

Сегодня можно констатировать, что появилась практическая возможность **нормализовать зритель-**

ные нагрузки за счет применения **светодиодных ламп второго поколения со спектром, близким к солнечному свету**. Также стало понятно, что необходимо проводить углубленные исследования по выявлению механизмов воздействия света определенного спектра на глаза человека. Это позволит эффективно решать в масштабах государства одновременно две задачи – энергосбережения и создания безопасных и комфортных условий при продолжительной работе с повышенными зрительными нагрузками. И такой взвешенный государственный подход, без сомнения, будет одним из важнейших способов профилактики глазных заболеваний [21]. Такие полупроводниковые источники белого света второго поколения уже разработаны в РФ. После соответствующей гигиенической сертификации с участием офтальмологов они могут применяться для формирования здоровой световой среды для детей и взрослых.

Учитывая особенности современного этапа развития «зеленых технологий» и стандартов для них, Российская академия архитектуры и строительных наук

(РААСН) провела 19 июля 2017 года совещание при участии советника президента РААСН, представителя НИИСФ РААСН, генерального директора Ассоциации производителей светодиодов и систем на их основе (АПСС), заместителя директора Департамента градостроительной деятельности и архитектуры Минстроя России и других экспертов. Эксперты обсуждали следующие вопросы:

- создание безопасной световой среды в детских дошкольных и медицинских учреждениях;
- совершенствование существующей нормативно-технической базы по данному направлению.

В своем протоколе №02/ТП от 19 июля 2017 г. эксперты рабочей группы по безопасной эксплуатации зданий и сооружений рекомендовали «при разработке нормативной технической документации учитывать отечественный и мировой опыт создания полупроводниковых источников белого света с биологически адекватным спектром излучения» [40].

Для обоснования концепции создания безопасной световой среды на базе полупроводниковых источников белого света с биологически адекватным спектром излучения целесообразно рассмотреть требования гигиены освещения и ее базовые характеристики: спектр света, цветовую температуру, цветопередачу среды и уровни комфортной освещенности, которые зависят от спектрального состава света [41].

4. Перспективы развития и решения проблемы безопасности СИС

Появление полупроводниковых источников белого света нового поколения с биологически адекватным спектром излучения (то есть с цветовой температурой 2700–3000 К) облегчает, но также и обостряет проблему разработки требований по уровню освещенности окружающей среды. В нормативных документах для люминесцентных ламп, которые имеют *дискретные* (линейчатые) спектры излучения, и для ламп накаливания, имеющих непрерывный (сплошной) спектр, нормы были разными (см. СНиП-П-4-79 «Естественное и искусственное освещение» и ОСТ32.120-98). При этом требования к характеристикам по уровню освещенности для ламп накаливания с цветовой температурой 2700–3000 К и люминесцентных ламп различаются иногда в 2 раза (!). Это означает, что при непрерывном спектре излучения необходим меньший уровень освещенности для комфортного освещения, чем при дискретном (линейчатом) спектре излучения, **что создает резервы энергосбережения**. Полупроводниковые источники белого света с адекватной цветовой температурой 2700–3000 К имеют непрерывный спектр как у лампы накаливания, при этом потребляя на порядок (в 10 раз) меньше электроэнергии. Означает ли это, что, применяя полупроводниковые источники белого света с адекватным спектром излучения, нужно руководствоваться нормами освещенности для ламп накаливания?

Многообразие технологий изготовления светодиодов, излучающих белый свет, требует быстрой разработки стандарта по технологической классификации светодиодных источников света, в котором будет учтена зависимость норм от спектра света для комфортного освещения. С точки зрения фотобиологии, функционирования зрительного анализатора и здоровья человека жизненно важное значение имеют спектральные характеристики искусственного источника белого света. Их надо измерять в абсолютных величинах и обязательно формировать требования в нормативных документах. Реализация разработанной в России концепции «Полупроводниковых источников белого света с адекватным спектром излучения» позволит решить противоречия между «безопасностью и эффективностью», в разы сократить световую нагрузку на глаза детей, а также на природу и все человечество. Ведь эта нагрузка уже достигла критических значений по «уровню светового загрязнения». Данная концепция может быть реализована в рамках целевой программы «Безопасный свет детям», которая была одобрена Минздравом РФ в 2017 г.

Выводы

1. Проведенные ранее в РФ и за рубежом без участия офтальмологов многочисленные психофизиологические исследования общего состояния организма детей при использовании светодиодного освещения

первого поколения не вполне корректны как по предложенным методикам, так и по малой выборке и продолжительности наблюдений. Эти работы не дают достоверной информации о возможных рисках потери зрения, в первую очередь у детской части населения РФ.

2. Современные эксперты считают, что для полного достижения потенциала искусственного освещения на основе твердотельных кристаллов необходимы интенсивные исследования влияния его спектра как на орган зрения, так и на здоровье человека.
3. Спектральное распределение мощности и уровни облучения являются факторами риска, которые могут способствовать фотохимическому повреждению сетчатки.
4. В России разработана концепция создания полупроводниковых источников белого света с биологически адекватным и непрерывным спектром излучения, которая позволяет:
 - проектировать источники белого света с учетом естественной функциональной защиты глаза человека, и его иммунной и гормональной систем;
 - повысить требования к допускаемым уровням освещенности до гигиенически безопасных норм, что позволит уменьшить избыточную световую нагрузку на население.
5. Офтальмологам при осмотре пациента следует интересоваться его преимущественным световым окружением и разъяснять, как неоптимальная световая нагрузка может влиять на зрение и развитие болезней зрительного анализатора.
6. Светодиодные системы освещения, которые устанавливаются в роддомах, детских садах, общеобразовательных и медицинских учреждениях, должны иметь подтверждение их фотобиологической безопасности со стороны органов Роспотребнадзора.

Список литературы

1. Интервью с Александром Андреевым. В море света объявлен «синий уровень опасности» // Полупроводниковая светотехника. – № 4. – 2017. – С. 62–65.
2. Ставицкая Т. В. Современные риски развития ВМД и методы их профилактики // Глаз. – 2017. – № 2. – С. 21–25.
3. Дюкин С. LED-мониторы и «синяя опасность» // Полупроводниковая светотехника. – 2017. – № 5. – С. 16–21.
4. Капцов В.А., Дейнего В.Н. Нарушение меланопсинового эффекта сужения зрачка – фактор риска заболевания глаз // Анализ риска здоровью. – 2017. – №1. – С. 132–148.
5. Newsome D.A., Dobard E.P., Liles M.R., Oliver P.D. Human retinal pigment epithelium contains two distinct species of superoxide dismutase // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 1990. – Vol. 31. – P. 2508–2513.
6. Зак П.П., Зыкова А.В., Трофимова Н.Н., Островский М.А. 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 // Офтальмохирургия. – 2013. – № 1. – С. 9–12.
7. Капцов В.А., Дейнего В.Н. Гигиенические проблемы формирования оптимальной световой среды: доклад на Международном форуме Научного совета РФ по экологии человека и гигиене

- окружающей среды «Современные методологические проблемы изучения, оценки и регламентирования факторов окружающей среды, влияющих на здоровье человека», посвященном 85-летию ФГБУ «НИИ ЭЧ и ГОС им. А.Н. Сытина» Минздрава России (15–16 декабря 2016 года).
8. Дейнего В. Н. О влиянии светодиодного освещения на глаза и здоровье человека: доклад на Ярославском энергетическом форуме 4–6 декабря 2012 года. Дискуссионная панель № 1. Тема: «Внедрение энергосберегающих осветительных систем. Проблемы и перспективы».
 9. Дейнего В. Н., Уласюк В. Н., Социн Н. П. Светодиодный источник белого света с комбинируемым удаленным фотолуминесцентным конвектором. Патент РФ № 2502917 от 30.12.2011.
 10. 2016 Human physiological responses to light: Meeting report prepared for U.S. Department of Energy Solid-State Lighting Program. – Washington, 19.07.2016 // URL: <https://energy.gov/eere/ssl/downloads/2016-human-physiological-responses-light-meeting-report> (дата обращения: 20.11.2017).
 11. DOE SSL Program, «2017 Suggested Research Topics Supplement: Technology and Market Context», edited by James Brodrick, Ph.D. // URL: https://energy.gov/sites/prod/files/2017/09/f37/ssl_supplement_suggested-topics_sep2017_0.pdf (дата обращения: 20.11.2017).
 12. Сигаева А.О., Сережникова Н.Б., Погодина Л.С., Трофимова Н.Н., Дадашева О.А., Гурьева Т.С., Зак П.П. Изменения сосудистой оболочки глаза разновозрастных групп японского перепела Coturnix Japonica в зависимости от спектрального состава освещения // Сенсорные системы. – 2015. – Т. 29. – № 4. – С. 354–361.
 13. Зак П.П., Зыкова А.В., Трофимова Н.Н. и др. Экспериментальная модель для исследования механизмов возрастных и дегенеративных изменений в сетчатке глаза человека (японский перепел C. Japonica) // Докл. Академии наук. – 2010. – Т. 434. – № 2. – С. 272–274.
 14. Рябцева А.А., Андрюхина А.С., Коврижкина А.А., Лапина В.А., Трофимова Н.Н., Зак П.П. Исследование остроты зрения у лиц молодого возраста в зависимости от спектрального состава искусственного освещения // Светотехника. – 2016. – № 6. – С. 26–29.
 15. Дейнего В.Н. Выбор концепции построения безопасной и энергосберегающей системы освещения «Не имеющий стратегии – жертва чужой тактики!» // КАБЕЛЬ-news. – 2012. – № 2. – С. 50–64.
 16. Дейнего В. Н. Рецензия на книгу: Кучма В. Р., Текшева А. М. Гигиенические основы использования светодиодов в системах искусственного освещения. – М.: ФГБУ «Научный центр здоровья детей» РАМН» // Медицина труда и промышленная экология. – 2014. – № 6. – С. 43–46.
 17. Кучма В. Р., Текшева А. М. Гигиенические основы использования светодиодов в системах искусственного освещения. – М., 2013.
 18. Долин Е.В., Звездина И.В., Надеждин Д.С., Текшева Л.М., Шмаров И.А. Сравнительная гигиеническая оценка условий освещения люминесцентными лампами и светодиодными источниками света // Светотехника. – 2011. – № 1. – С. 48–53.
 19. Текшева Л. М. Сравнительная гигиеническая оценка условий освещения люминесцентными лампами и светодиодными источниками света в школах // Светотехника. – 2012. – № 5. – С. 16–23.
 20. Solid-State Lighting 2017 Suggested Research Topics // URL: https://energy.gov/sites/prod/files/2017/09/f37/ssl_suggested-research-topics_sep2017.pdf (дата обращения: 20.11.2017).
 21. Дейнего В.Н., Капцов В.А., Балашевич Л.И., Светлова О.В., Макаров Ф.Н., Гусева М.Г., Кошиц И.Н. Профилактика глазных заболеваний: светобиологическая безопасность и гигиена энергосберегающих источников света // Глаз. – 2016. – № 1. – С. 18–33.
 22. Фотобиологическая проблема современного искусственного освещения // Полупроводниковая светотехника. – № 5. – 2017. – С. 8–15.
 23. Price L.L.A., Khazova M., O'Hagan J.B. Human responses to lighting based on LED lighting solutions /Commissioned by the Chartered Institution of Building Services Engineers and the Society of Light and Lighting PHE Report, 2016 // URL: <https://www.cibse.org/knowledge/knowledge-items/detail?id=a0q20000008I6z6AAC> (дата обращения: 20.11.2017).
 24. O'Hagan J.B., Khazova M., Price L.L. Low-energy light bulbs, computers, tablet sand the blue light hazard // Eye. – 2016. – Vol. 30. – P. 230–233.
 25. SCHEER (Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks). Preliminary Opinion on Potential risks to human health of Light Emitting Diodes (LEDs), 6 July 2017 // URL: https://ec.europa.eu/health/sites/health/files/scientific_committees/scheer/docs/scheer_o_011.pdf (дата обращения: 20.11.2017).
 26. Ham W.T., Mueller H.A., Sliney D.H. Retinal sensitivity to damage from short wavelength light // Nature. – 1976. – Vol. 260. – P. 153–155.
 27. Капцов В.А., Дейнего В.Н. Фотобиологическая безопасность и техническая политика на светодиодном рынке // Энергосвет. – 2016. – № 4. – С. 42–48.
 28. Jung S.K., Lee J.H., Kakizaki H., Jee D. Prevalence of myopia and its association with body stature and educational level in 19-year-old male conscripts in seoul, South Korea // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 2012. – Vol. 53. – P. 5579–5583.
 29. В России светодиоды испытывают на людях // URL: <https://www.mdm-light.ru/publications/articles/711/> (дата обращения: 20.11.2017).
 30. Федюкина Г.В. Современное освещение школ /под общей редакцией проф. Ю.Б. Айзенберга. – М., 2011.
 31. Фотобиологические проблемы современного искусственного освещения // Полупроводниковая светотехника. – 2017. – № 5. – С. 8–15.
 32. Villette T., Lawrenson J. Blue light: A review of the evidence on the potential benefits and harms of blue-filtering lenses (презентация к лекции 13.03.2016) // URL: <http://studyres.com/doc/6462186/blue-light---college-of-optometrists> (дата обращения: 20.11.2017).
 33. Olah J, Toth-Molnar E, Kemeny L, Csoma Z. Long-term hazards of neonatal blue-light phototherapy // Br. J. Dermatol. – 2013. – Vol. 169. – P. 243–249.
 34. Кузьмина И. Ю. Влияние неблагоприятных факторов окружающей среды на состояние недоношенных новорожденных // Сб. материалов республиканской науч.-практ. конф. с междунар. участием «Здоровье и окружающая среда», посвященной 90-летию республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр гигиены» (Минск, 26-28 октября 2017 г.): в 2 тт. – Минск, 2017. – Т. 1.
 35. Marshall J. The blue light paradox: problem or panacea // URL: <http://www.pointsdevue.com/article/blue-light-paradox-problem-or-panacea> (дата обращения: 20.11.2017).
 36. Halper M. Human-centric lighting in the workplace: It's not just about color temperature // LEDs Magazine. – 2017. – Vol. 14. – P. 21–28.
 37. OPL/R ECO LED CF Светодиодные светильники с опаловым рассеивателем и изменяемой цветовой температурой // URL: <https://www.ltcompany.com/ru/products/types/special-lighting/hcl/opl-r-eco-led-595-cf/> (дата обращения: 20.11.2017).
 38. Вавилов С.И. Глаз и Солнце. О свете, солнце и зрении. – Изд. 4-е. – М.:Л., 1941.
 39. Слайни Д.Х. Влияние новых светотехнических приборов на здоровье и безопасность людей // Светотехника. – 2010. – № 3. – С. 49–50.
 40. Протокол №02/ТП от 19 июля 2017 г. Рабочей группы по безопасной эксплуатации зданий и сооружений. Секция «Ресурсоэнергоэффективность, безопасность и экология» Технической платформы «Строительство и архитектура» (ТПСА).
 41. SoLux™: The Truth is in the Spectrum // URL: <http://www.solux.net/cgi-bin/tlstore/infopages/comparison.htm> (дата обращения: 20.11.2017).

E-mail для связи с авторами: Дейнего Виталий Николаевич, vn-led@bk.ru.