

Десять лет школьному светодиодному освещению.

Часть 1. Новые угрозы

- ➔ С момента создания белых светодиодов минуло уже 25 лет. Понимание законов фотобиологии в значительной степени повлияло на технологию разработки нового поколения светодиодных источников света, ориентированных на сохранение здоровья человека. Так почему же требования к искусственному освещению в новом СанПиН 1.2.3685-21 не стимулируют отечественных производителей к созданию источников света, спектр излучения которых минимизирует риски негативного воздействия освещения на здоровье? Давайте разбираться.

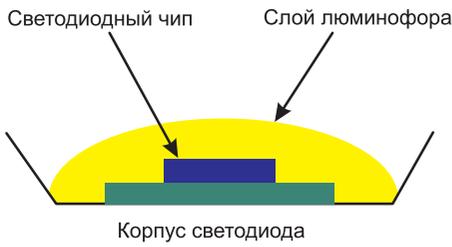


*Живи еще хоть четверть века —
Все будет так. Исхода нет.
А. Блок*

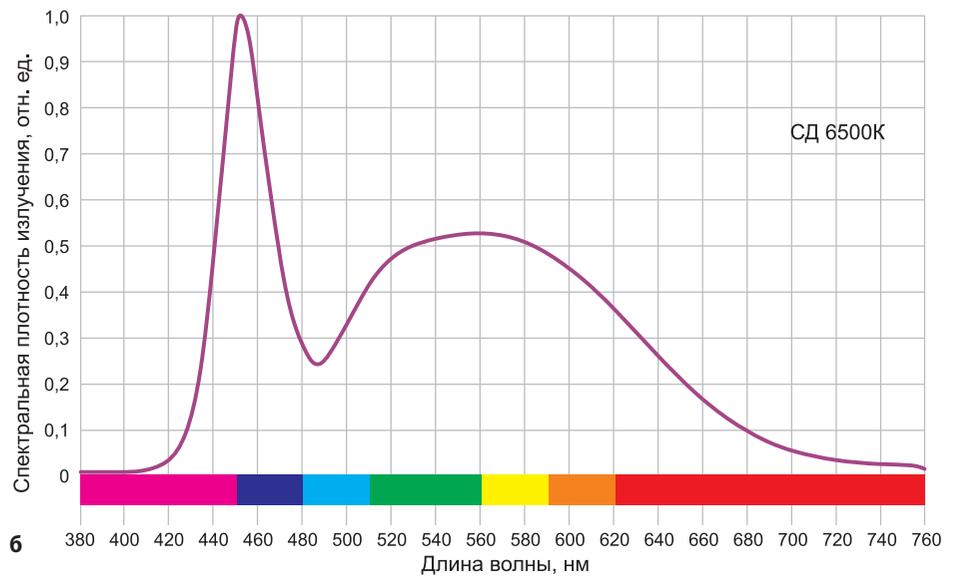
Великий физик Альберт Эйнштейн говорил: «Забота о человеке и его судьбе всегда должна быть во главе любой технологической разработки. Никогда не забывай об этом среди своих уравнений и диаграмм». Философ и поэт Алишер Навои завещал: «Если ты человек, то не называй человеком того, кто не заботится о судьбе своего народа». Государство должно через свои независимые от бизнеса институты и нормативную базу документов формировать ограничения для разработчика в интересах сохранения здоровья человека.

С 1 марта 2021 года вступил в силу новый СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Новые санитарные правила объединили множество ранее действовавших гигиенических нормативов и санитарных норм в единый документ. В общей сложности было упразднено — 123 акта, среди них и СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий». На наших глазах произошло эпохальное событие — сменилась идеология построения СанПиН. Новый СанПиН заменил частные санитарные правила по освещению, в которых содержатся детальные требования и нормы, оговоренные в ГОСТах. В новой редакции санитарных правил все лаконично и абстрактно: в разделе 2.8 пункт 2.8.5 читаем: «Система общего освещения обеспечивается потолочными светильниками с разрядными, люминесцентными или светодиодными лампами со спектрами светового излучения: белый, тепло-белый, естественно-белый». Такая скудость санитарных норм (требований) обескураживает и ничего общего не имеет с техническими требованиями ГОСТов.

Внедрение светодиодного освещения имеет свою административную историю и логические последствия: для участников светодиодного рынка — банкротство, а для здоровья детей и подростков — массовая школьная миопия. Рассмотрим некоторые аспекты этой истории и новые угрозы для зрительного анализатора человека (для детей и подростков, будущих призывников)



а



б

Рис. 1. а) Общая компоновка; б) распределение спектра свечения белого светодиода [42]

со стороны светодиодной световой среды обитания, которая характеризуется спектральным составом излучения, его интенсивностью и периодичностью действия.

Прошло 30 лет с того момента, как японский физик Сюдзи Накамура изобрел светодиод, излучающий в синем диапазоне видимого спектра, положив начало производству люминесцентных светодиодов квазибелого света, выпуск которых начался в 1996 году. Свою историю от светодиодных источников белого света до лазерных источников белого света Накамура изложил в работе [1].

Белый светодиод — это полупроводниковый кристалл, излучающий в синем диапазоне видимого спектра, покрытый желтым люминофором. Согласно ньютоновской цветовой триаде, смешение синего и желтого дает белый свет. Схема этого светодиода приведена на рис. 1а, а спектр излучаемого им света — на рис. 1б.

Сегодня технология изготовления белых светодиодов освоена многими отечественными и зарубежными компаниями. Они изменяют длину волны синего светодиода, состав материала полупроводника, параметры желтого люминофора и технологии его нанесения, но распределение спектра света не менялось и оставалось таким же, как на рис. 1. Для этого квазибелого спектра света характерен выброс в области синего с длиной волны 450–460 нм и провал при 480 нм, а также малая доза красного света (670 нм) и полное отсутствие фиолетового (380 нм). Типичный спектр излучения бе-

лого светодиода производства компании Cree приведен на рис. 2.

Светодиоды компании Cree применяются на российском светодиодном рынке и применялись в конкуренции со светодиодами ЗАО «Оптоган» в школьных светодиодных светильниках. Под брендом «Оптоган» выпускались конкурентоспособные светодиоды белого света со световой отдачей 110 лм/Вт, спектр излучения которых приведен на рис. 3 при CRI = 80, $T_j = +25^\circ\text{C}$.

В 2012 году светильники со светодиодами фирмы «Оптоган» были поставлены в центр образования «Феникс» школы № 1666 (Москва), на базе которой был открыт первый в России демонстрационный и методический ресурсный

кабинет. Этот кабинет был создан НИИ гигиены и охраны здоровья детей и подростков ФГБУ «Научный центр здоровья детей» РАМН при поддержке Роснано, Фонда инфраструктурных и образовательных программ. При этом освещении у детей, которые в течение двух месяцев обучались в группе под светодиодными светильниками, острота зрения возросла в конце года в 80% случаев [2]. Однако не указано, у какого количества детей острота зрения не изменилась или ослабла. В это же время в работе специалиста НИЦ ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова» МО РФ приведены результаты оценки остроты зрения у операторов, которые дежурили

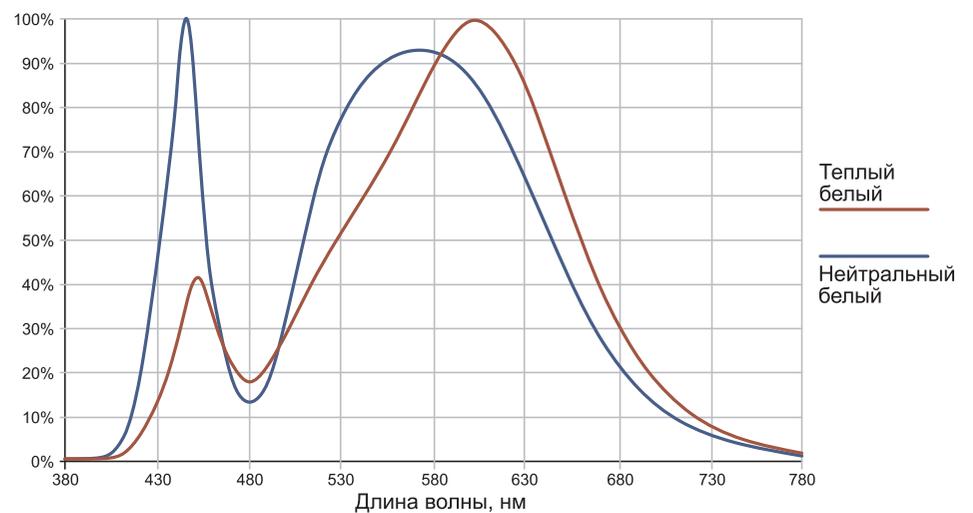


Рис. 2. Спектр излучения белого светодиода Cree MT-G2

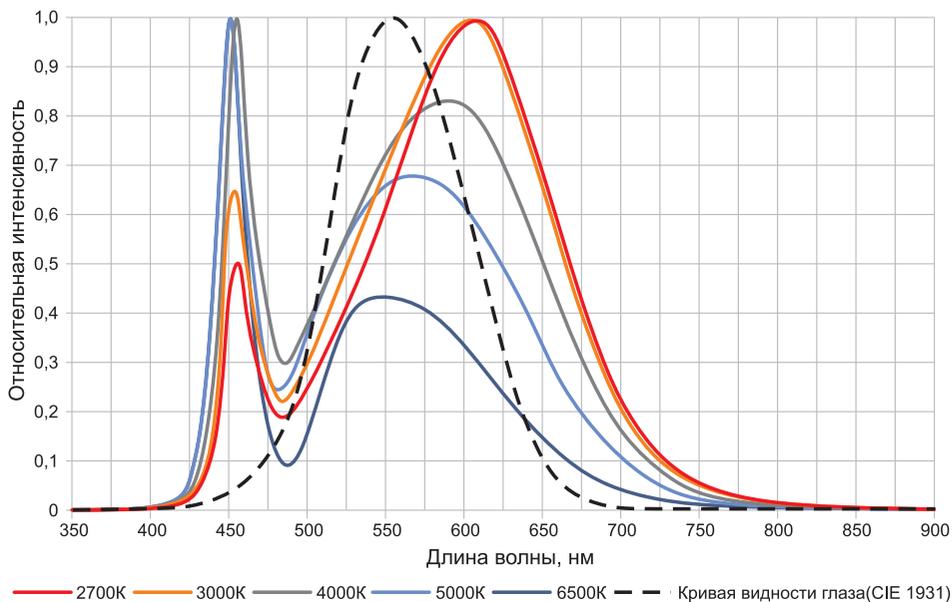


Рис. 3. Относительные спектры излучения белых светодиодов ЗАО «Оптоган» и соответствующие значения коррелированной цветовой температуры

сутки через трое в условиях светодиодного освещения [3].

Обобщенные результаты изменения остроты зрения операторов приведены на рис. 4.

Из представленных данных видно, что у операторов, которые подвергались воздействию светодиодного света с коррелированной цветовой температурой 2900 К, острота зрения имеет как положительную, так и отрицательную динамику. Видимо, острота зрения не является интегральной

характеристикой для сравнения разных искусственных источников света.

В российских школах светодиодные светильники стали применяться благодаря исследованиям, проведенным в 2010–2012 годах в Федеральном государственном автономном учреждении «Национальный научно-практический центр здоровья детей» Минздрава России при поддержке РОСНАНО и ЗАО «Оптоган» [4–7], что и дало зеленый свет к использованию светодиодных

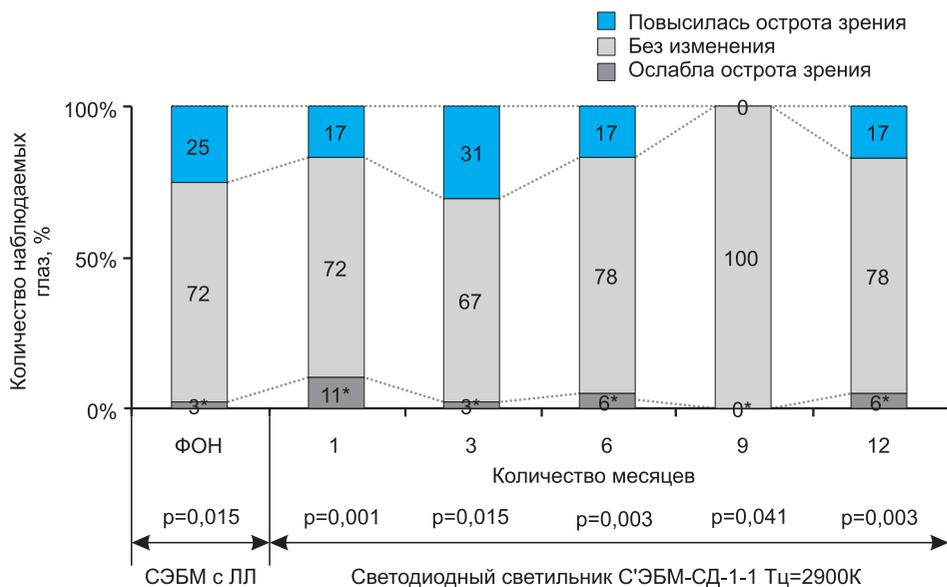


Рис. 4. Изменения остроты зрения глаза (левого/правого) у операторов за время дежурства (%). За базовый фон взяты значения остроты зрения операторов при люминесцентном освещении

источников в освещении в общеобразовательных учреждениях.

Несмотря на то, что в это время уже широко обсуждались:

- новые открытия в области влияния светодиодного света через ганглиозные клетки на циркадные ритмы (460 нм), эффективность управления диаметром зрачка глаза (480 нм) [8];
- возражения научной общественности о некорректности сравнения светодиодных светильников с матовым рассеивателем с люминесцентными лампами без аналогичного рассеивателя [9, 10]. При этом всего на 12% увеличилась работоспособность волонтеров при равном уровне утомляемости [5];
- умолчание (сокрытие) существенного проигрыша (в 2 раза по показателям работоспособности и утомляемости) эффективности светодиодных светильников без рассеивателя по сравнению с люминесцентными лампами [4, 8, 9];
- мнения академика РАН М. А. Островского и д. б. н. П. П. Зака о «синей опасности» [11] для глаз детей и подростков.

По результатам проведенной работы были подготовлены и 25.12.2013 утверждены изменения № 2 в СанПиН 2.4.2.2821-10, разрешающие использование светодиодов в школах. С этого момента через ВНИСИ им. С. И. Вавилова начинается активизация процесса трансфера нормативной документации Европейского союза на российский рынок осветительных систем.

«Разрешенные к применению светодиоды **нейтрального белого света** настолько же опасны для детских глаз, насколько опасны светодиоды холодного белого света, не рекомендуемые для зрения взрослых людей» — такие слова приводятся в аннотационной справке «О повышенных факторах риска светодиодного освещения для детского зрения», составленной на основании 40-летних исследований лаборатории физико-химических основ рецепции ИБХФ им. Н. М. Эммануэля РАН и заключений европейской и французской экспертных групп по оценке опасности искусственных источников освещения [12]. Осенью 2012 года НП «Энергоэффективный город» направило заместителю председателя Правительства письмо о необходимости переноса сроков введения запрета на лампы накаливания, предусмотренного 261-ФЗ. Указывая на то, что необходимы дополнительные исследования, позволяющие оценить накопленное влияние использования белых светодиодов

на зрение, в частности проведение целевых исследований на животных с короткими сроками жизни. Реакция заместителя председателя Правительства на обращение изложена в статье [12]. С этого момента начинается бум исследований по оправданию применения светодиодов, излучающих белый свет со спектром, показанным на рис. 1. Исследования проводятся на кафедрах университетов в Москве, Казани и Саранске, а также в НИЦ ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова» МО РФ, ФГБУН ГНЦ РФ «Институт медико-биологических проблем» РАН при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации и компаний по выпуску светодиодных светильников [13–16]. Исследования, проведенные в ФГБУН ГНЦ РФ «Институт медико-биологических проблем» РАН с привлечением ФГБУ «Московский НИИ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России и двух ВП МО РФ, являются наиболее весомыми и инструментально глубокими [17, 18]. Эти исследования выполнялись при финансовой поддержке АО «НПЦ «НИИ микроприборов»», которое разрабатывает и серийно выпускает светотехнические приборы для российской космонавтики. Для участия в первом этапе экспериментальных исследований были отобраны 10 здоровых добровольцев-мужчин в возрасте 25–42 лет, которые были обследованы в клинической больнице № 119 ФМБА России и допущены к участию в гермокамерных исследованиях Водозлазно-квалификационной комиссией и Этическим комитетом Института медико-биологических проблем (ИМБП) РАН. В ходе исследований восемь человек были подвергнуты динамическому светодиодному освещению — такой вид светодиодного освещения (имитация светового времени суток) сейчас в тренде школьного светодиодного освещения. Световые характеристики данного светодиодного освещения приведены в таблице 1.

Переключение между режимами освещения осуществлялось плавно в течение 20–30 мин. Общая продолжительность солнечного светового времени суток (включая гражданские сумерки) составила 18 ч, что близко соответствует дню 15 мая для Московской области [18].

Для имитации такого светового режима АО «НПЦ «НИИ микроприборов»» изготовило светильники, в которых были использованы светодиоды, представленные

Таблица 1. Алгоритм имитации светлого времени суток [18]

Моделируемое время суток	Длительность светового воздействия, мин	Коррелированная цветовая температура, К
Рассветные сумерки	60	2200 ±200
Утро при ясной погоде	120	4000 ±400
Ясная погода	300	5000 ±500
Облачный покров	120	8000 ±800
Ясная погода	180	5000 ±500
Вечер при ясной погоде	120	4000 ±400
Вечерние сумерки	60	2200 ±200

Таблица 2. Типы светодиодов [18]

Тип светодиода	КЦТ, К	Максимальная длина волны, нм	Производитель	Назначение
MLBAWT-A1-0000-000UEA	2200 ±100	450	Cree	Общее освещение
STW8Q14C(W5C1Z1)	5000 ±250	460	Seoul Semiconductor	
MLBAWT-A1-0000-000WEO	8000 ±500	450	Cree	

в таблице 2, а в работах [17, 18] характеристики светильников не приведены.

Типовой спектр светодиода фирмы Cree приведен на рис. 3, а светодиода STW8Q14C — на рис. 5.

Данный спектр, как и спектр излучения светодиода Cree, имеет провал в области 480 нм, что свидетельствует о неэффективном управлении диаметром зрачка глаза [19, 20]. При провале в спектре света в области 480 нм происходит нарушение условия эффекта «меланопсिनного удержания зрачка» при его сужении в световой среде. В спектре солнечного света такого провала нет. После завершения испытаний из этих восьми испытуемых были отобраны четыре человека, которые прошли обследование в ФГБУ «Московский НИИ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России. Итоги обследования

были изложены в работе [17], в которой специалисты ФГБУ «Московский НИИ глазных болезней им. Гельмгольца» отмечали следующее: «Амплитуда распределение-ЗВКП практически не изменялась после завершения гермокамерного испытания, но у всех участников эксперимента обнаружено W-образное раздвоение пика P100. Раздвоенная форма пика P100 была более выраженной для меньшего углового размера распределения (16'). Появление W-образной формы, вместо единственного доминирующего в ответе позитивного пика P100, вероятно, следует рассматривать как специфический эффект длительной световой экспозиции светодиодных светильников (СД-светильников). Обнаруженное в этом исследовании расщепление волны P100, вероятно, свидетельствует о рассогласовании функции зрительных

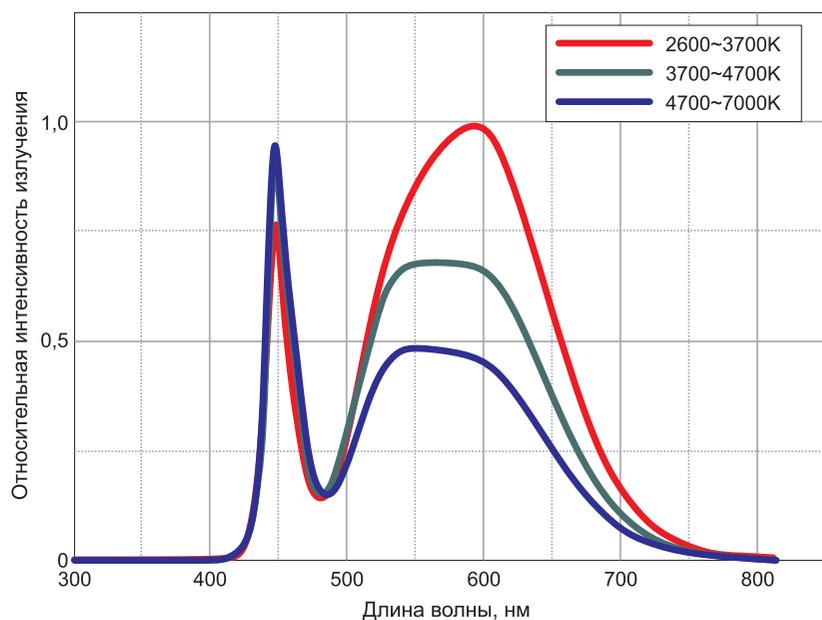


Рис. 5. Типовой спектр светодиода STW8Q14C производства Seoul Semiconductor

каналов, имеющих разную скорость передачи сигналов *ганглиозных клеток сетчатки в мозг* и их обработки. Нельзя исключить, что эти изменения, вызванные непривычно длительной и интенсивной световой экспозицией, могут отражать также нарушение коррелированной активности субпопуляций нейронов в зрительной коре, приводя к изменению формы суммарной вызванной активности зрительной коры — ЗВКП. Кроме того, учитывая, что в спектре СД-излучения имеется значительная компонента синей области спектра, возможно влияние повышенной активности альтернативных зрительных путей, например через переднее двухолмие — ретино-тектальный путь» [21]. Только применение более функционально-сложного оборудования позволило выявить эффект W-раздвоения пика P100 от воздействия динамического светодиодного освещения при уровне освещенности по ГОСТ Р 50804-95 [17, 18]. Эффект W-раздвоения пика P100 — это маркер начала развития глаукомы [22, 23]. Подробно механизмы поражения митохондрий ганглиозных клеток под воздействием синего света рассмотрены в работах [24–26], а механизм их утилизации астроцитами в работе [27]. Офтальмологи ФГБУ «Московский НИИ глазных болезней им. Гельмгольца» отмечали, что ГОСТ Р 50804-95, как и в других подобных нормативных документах по освещению, *спектр света не нормируется* [17].

Из-за некорректных инженерно-экспертных оценок [28, 29] влияния светодиодного освещения на глаза человека российская светотехническая промышленность осталась на рубеже трансфера чужих технологий (синий кристалл — желтый люминофор), от которой отказался даже ее отец-основатель лауреат Нобелевской премии по физике за 2014 год Сюдзи Накамура. Российский бизнес пытается удержаться в нише разработок светодиодов прошлого века, не учитывая мнения гигиенистов и офтальмологов о негативном влиянии данного спектра света на здоровье человека [30]. Специалисты Института биохимической физики им. Н. М. Эммануэля РАН в области молекулярной физиологии зрения многократно предупреждали о «синей опасности» светодиодного освещения для зрения детей и подростков [11, 12]. Гигиенист и офтальмолог Ф. Ф. Эрисман указывал следующее: «Близорукость не есть неизбежное зло, которое необходимо сопряжено со школьным воспитанием; напротив, прогрессивная миопия есть зло, возникающее только от нецелесообразного устройства школ, и это зло было бы, конечно, устранено, если бы на устройство школ было бы *обращено внимание общества*». Сегодня с ростом учебной нагрузки дети и подростки все больше времени находятся в условиях искусственного «синюшного» освещения, которое разрабатывается в рамках светотехнической науки. В работе [31]

врач-офтальмолог Александр Андреев отмечал: «...проблема воздействия формально не стоит. Нет спроса со стороны социума, нет соответствующего «заказа» со стороны государства, практически отсутствует обсуждение в сфере офтальмологического сообщества. Проблема излучения 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». В статье «Красивая история нанотехнологий разбилась о рынок» [43] изложена история возникновения и упадка лидера отечественного изготовителя светодиодов фирмы «Оптоган» [32], выпускавшей светодиоды со спектром, приведенным на рис. 3, для которого характерен выброс в области синего и провал в области 480 нм.

Прошло три года, и Международная светотехническая корпорация «БООС ЛАЙТИНГ ГРУПП» совместно с Группой «Роснано» в 2018 году учредила производственную компанию «Клевер» с целью предложить рынку качественные отечественные светодиоды, светодиодные модули и сопутствующую оптоэлектронную продукцию собственного изготовления.

24 декабря 2020 года в Санкт-Петербурге в ООО «ПК «Клевер» состоялось открытие новой линии производства новых светодиодов. Спектр излучения светодиода завода «Клевер» приведен на рис. 6.

Этот спектр имеет то же распределение, что и спектр излучения светодиодов ЗАО «Оптоган» (рис. 3).

Прошли годы, а распределение спектра света отечественных светодиодов не изменилось. При этом зарубежные компании стремятся изменить спектр излучения СД с учетом рекомендаций научных организаций, регулирующих здравоохранение в своих странах [33]. К таким рекомендациям относятся мероприятия:

- по уменьшению выброса синего света в области 450–460 нм;
- по заполнению провала в области 480 нм;
- по расширению диапазона 380 и 670 нм.

За последние пять лет многие производители светодиодов пошли по пути модернизации спектра излучения светодиодного освещения и создали свои запатентованные человеко-ориентированные бренды по освещению [33–39].

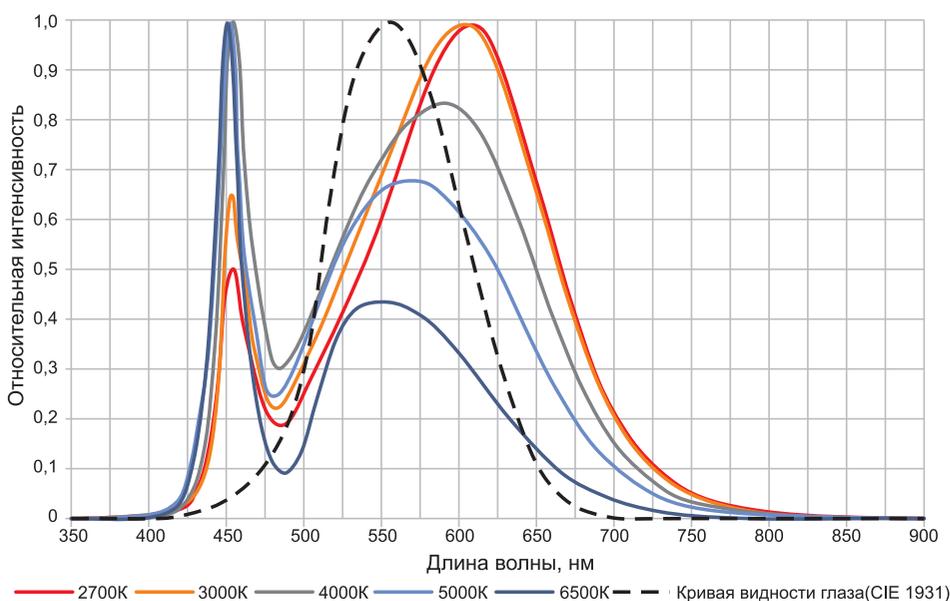


Рис. 6. Спектр излучения светодиода завода «Клевер»

Фирма Nichia становится еще одним участником гонки за наилучшие способы получения спектров в диапазоне 480 нм для невидимых систем [40]. Фирма «Биологические инновации и оптимизационные системы» (BIOS), дочернее предприятие НАСА, является признанным новатором в области биологического применения светодиодного освещения. Благодаря постоянным исследованиям и разработкам светодиодные осветительные решения BIOS продолжают оставаться в авангарде освещения, которое учитывает особенности световосприятия человека, и лидером в области освещения для выращивания растений [41].

Объединив многолетний биологический опыт и научные разработки, впервые разработанные для Международной космической станции, BIOS движет рынком циркадного освещения, ориентируясь на биологию и используя светодиоды высочайшего качества, которые могут помочь достичь высоких строительных стандартов (WELL Building Standard). «Интеграция опыта BIOS Lighting в области циркадных спектральных требований к освещению с опытом Lumileds в области светодиодов и разработки решений позволила реализовать этот революционный подход к разработке светильников», — отмечает Виллем Силлевис-Смитт, руководитель отдела маркетинга Lumileds [41].

Общие распределение спектра излучения светодиодов LUXEON SkyBlue Kit приведено на рис. 7.

Общие характеристики светодиодов LUXEON SkyBlue Kit приведены в таблице 3.

Производитель светодиодов, компания Lumileds перешла к выпуску линейки светодиодов, которая позволяет синтезировать спектр белого света при проектировании светильников. Это новая революционная концепция получения «солнцеподобного» спектра светодиодного источника света. Развитие концепции синтеза белого света в светильнике изложено во второй части статьи.

Выводы

1. Пионеры административного внедрения светодиодного освещения сменили область своей ответственности, оставив школьное освещение производителям светодиодов, которые имеют квазибелый спектр излучения (выброс синего и провал в области 480 нм).

Таблица 3. Основные характеристики светодиодов LUXEON SkyBlue Kit при $T_K = +55^\circ\text{C}$ и токе 50 мА

ССТ, К	CRI/R9	Световая отдача, лм/Вт	Световой поток, лм	Тип
3000	83/90	148	58	L1.30.3080YA30SBB30
3500	85/90	158	62	L1.30.3580YA30SBB30
4000	85/90	160	64	L1.30.4080YA30SBB30

- Отечественная система здравоохранения не сумела сформулировать требования к школьной световой среде, которые бы:
 - защитили глаза и здоровье детей и подростков;
 - способствовали разработке отечественных светодиодов со спектром излучения белого света, который учитывает особенности световосприятия человека.
- Переход на концепцию здорового освещения позволил зарубежным фирмам запатентовать технологию изготовления светодиодов со спектром излучения белого света, который учитывает особенности световосприятия человека. ●
- Болехан В. Н., Ганапольский В. П., Щукина Н. А., Базылева Л. В. Комплексное исследование влияния светодиодных источников света на функциональное состояние организма человека. Материалы V Междунар. науч. конф., 2017. www.moluch.ru/conf/med/archive/240/12027/
- Дейнего В. Н. Выбор концепции построения безопасной и энергосберегающей системы освещения. Не имеющий стратегии — жертва чужой тактики! // КАБЕЛЬ-news. 2012. № 2.
- 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.
- Текшева Л. М. Сравнительная гигиеническая оценка условий освещения люминесцентными лампами и светодиодными источниками света в школах // Светотехника. 2012. № 5.
- Кучма В. Р., Текшева А. М. Гигиенические основы использования светодиодов в системах искусственного освещения.

Литература

- Nakamura S. The Invention of High Efficient Blue LED and Future Solid State Lighting Co-founder of Sora. Materials and ECE Departments. University of California, Santa Barbara, 2016.
- О светодиодах, безопасности и нормативной базе. Интервью с Долиным Е. В. // Энергосовет. 2013. № 6.

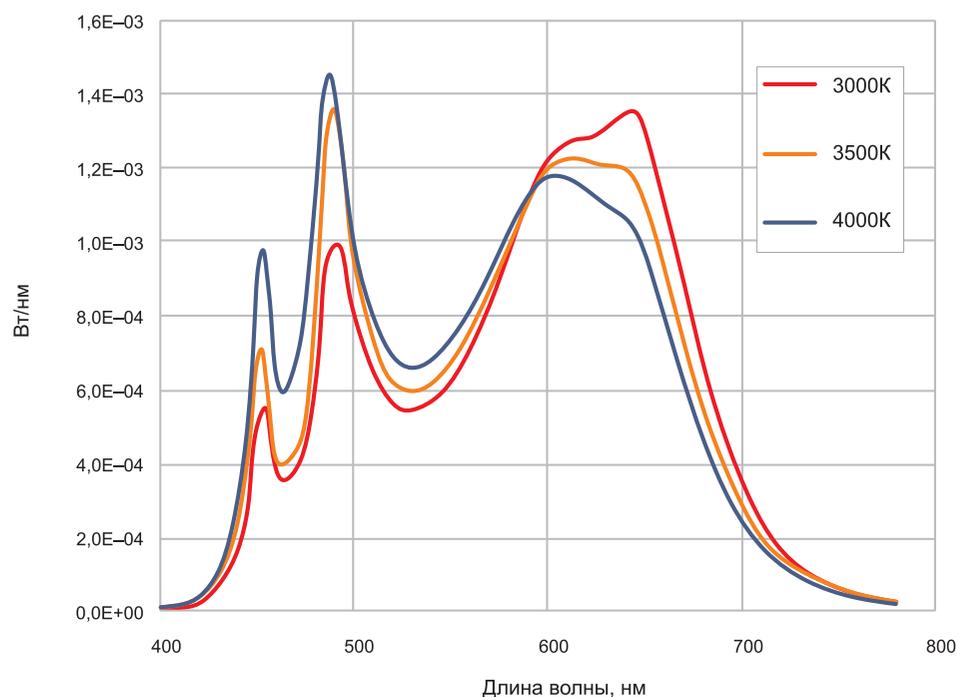


Рис. 7. Спектр излучения светодиодов LUXEON SkyBlue Kit [41]

- М.: ФГБУ «Научный центр здоровья детей» РАМН, 2013.
8. Дейнего В. Н. О влиянии светодиодного освещения на глаза и здоровье человека. Ярославский энергетический форум, 4–6 декабря 2012.
 9. Энергоэффективные технологии: использование светодиодного освещения. Доклад на Научно-техническом совете ОАО «Мосэнергосбыт», 3 февраля 2010.
 10. Дейнего В. Н. Рецензия на книгу «Гигиенические основы использования светодиодов в системах искусственного освещения» // Медицина труда и промышленная экология. 2014. № 6.
 11. Зак П. П., Островский М. А. Потенциальная опасность освещения светодиодами для глаз детей и подростков // Светотехника. 2012. № 3.
 12. Светодиоды могут быть опасны для детского зрения. www.energosoвет.ru/news.php?zag=1359961128
 13. Осико М. В., Гизингер О. А., Телешева Л. Ф., Долгушин И. И., Огнева О. И., Федосов А. А., Кудряшов А. В., Вахитов М. Г., Калинина А. С. Исследование эффективности и безопасности для здоровья светодиодных источников света // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6.
 14. Железникова О. Е. и др. Исследование условий светодиодного освещения // Вестник Мордовского университета. 2014. № 1.
 15. Амелькина С. А., Железникова О. Е., Синицына Л. В. Об эффективности освещения светодиодами по зрительной работе // Светотехника. 2018. № 2.
 16. Воздействие цветовой температуры освещения на организм человека. Первое заявочное исследование // Lumen ExpertUnion. 2015. № 4, 5.
 17. Нероев В. В., Ушаков И. Б., Зуева М. В., Манько О. М., Лантух Е. П., Цапенко И. В., Смолеевский А. Е., Назара Г. Н. Вызванные потенциалы сетчатки и зрительной коры при длительном воздействии светодиодного излучения светильников с варьируемыми во времени спектрально-энергетическими характеристиками // Российский офтальмологический журнал. 2016. № 1.
 18. Смолеевский А. Е. Психическая работоспособность оператора в условиях светодиодного освещения с различными спектрально-энергетическими характеристиками. Автореферат дисс. к. м. н. 14.03.08.
 19. Капцов В. А., Дейнего В. Н. Нарушение меланоперинового эффекта сужения зрачка — фактор риска заболевания глаз // Анализ риска здоровью. 2017. № 1.
 20. Капцов В. А., Дейнего В. Н. Нерациональное освещение как риск здоровью в условиях Арктики // Анализ риска здоровью. 2020. № 1.
 21. Maunsell J. H. R. Functional visual streams // Curr. Opin. Neurobiol, 1992. No. 2.
 22. Kothari R., Singh R., Singh S., Bokariya P. Occurrence of “W” pattern in visual evoked potentials of primary open angle glaucomatous patients // Curr. Neurobiol. 2012. No. 3.
 23. Егоров В. В., Смолякова Г. П., Борисова Т. В., Гохуа О. И. Физиотерапия в офтальмологии: монография для врачей-офтальмологов и физиотерапевтов. Хабаровск, ИПКСЗ, 2010.
 24. Osborne N. N., Núñez-Álvarez C., Del Olmo-Aguado S. The effect of visual blue light on mitochondrial function associated with retinal ganglion cells // Exp Eye Res. 2014. Vol. 128. Iss. 8–14.
 25. Osborne N. N., Li G. Y., Ji D., Mortiboys H. J., Jackson S., et al. J Light affects mitochondria to cause apoptosis to cultured cells: possible relevance to ganglion cell death in certain optic neuropathies // Neurochem. 2008. Vol. 105. No. 5.
 26. Del Olmo-Aguado S., Manso A. G., Osborne N. N. Light Might Directly Affect Retinal Ganglion Cell Mitochondria to Potentially Influence Function // Photochemistry and Photobiology. 2012. Vol. 88.
 27. Burdett T. C., Freeman M. R. Astrocytes eyeball axonal mitochondria. Retinal neurons transfer mitochondria to astrocytes for rapid turnover to meet energy demands // Science. 2014. Vol. 345.
 28. Николаев Д. А. Фотобиологическая опасность с точки зрения инженера. www.youtube.com/watch?v=RckEeWHsoZc
 29. Богданов А. А., Николаев Д. А. Фотобиологическая безопасность. Есть опасность или нет // Энергосовет. 2016. № 4.
 30. Капцов В. А., Дейнего В. Н. Фотобиологическая безопасность и техническая политика на светодиодном рынке // Энергосовет. 2016. № 4.
 31. В море света объявлен «синий уровень опасности». Интервью с Александром Андреевым // Полупроводниковая светотехника. 2017. № 4.
 32. Световой удар. www.kommersant.ru/doc/1475624
 33. Капцов В. А., Дейнего В. Н. Школьные люмены. Светодиодное освещение — безопасность и охрана труда в школах // Безопасность и охрана труда. 2017. № 4.
 34. Дейнего В. Н., Капцов В. А. Современные концептуальные бренды конструкций полупроводниковых источников света. Ч. 2. Гигиеническая оценка спектров // Полупроводниковая светотехника. 2019. № 6.
 35. Дейнего В. Н., Капцов В. А. Современные концептуальные конструкции полупроводниковых источников света // Полупроводниковая светотехника. 2019. № 5.
 36. Гордиенко В. Р., Дейнего В. Н., Капцов В. А. Светильники-трансформеры с комплексированным полупроводниковым источником света с солнцеподобным спектром излучения // Полупроводниковая светотехника. 2019. № 4.
 37. Капцов В. А., Дейнего В. Н. Закон необходимого разнообразия и гигиена освещения // Санитарный врач. 2019. № 12.
 38. Llenas A. et al. Testing the use of spectrally tunable dynamic lighting systems to improve Proceedings. 29th CIE Session, 2019.
 39. Liang J., Devakumar B., Sun L., Wang S., Sun Q., Huang X. Full-visible-spectrum lighting enabled by an excellent cyan-emitting garnet phosphor // Journal of Materials Chemistry C. 2020. Iss. 14.
 40. Nichia reveals phosphor-converted cyan LED, ships TriGain components Dec 10th, 2020. www.ledsmagazine.com/leds-ssl-design/article/14188795/nichia-reveals-phosphorconverted-cyan-led-ships-trigain-components
 41. New LUXEON SkyBlue LED Solution Simplifies and Speeds Development of Human-Centric Lighting 2021 LED professional. Luger Research e.U. www.led-professional.com/all/new-luxeon-skybluetm-led-solution-simplifies-and-speeds-development-of-human-centric-lighting
 42. www.electromontaj-proekt.ru/attachments/Image/spektr-svetodioda-6500K.jpg?template=generic
 43. www.kommersant.ru/doc/2876822