

Потенциальная опасность освещения светодиодами для глаз детей и подростков

П.П. ЗАК¹, М.А. ОСТРОВСКИЙ

ФГБУН «Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН»,
ФГБУН «МНТК «Микрохирургия глаза» им. С.Н. Фёдорова» Росмедтехнологии», Москва

Аннотация

Современные белые светодиоды (СД) имеют выраженную полосу излучения в сине-голубой полосе 440–460 нм, полностью приходящуюся на спектр действия фотохимического повреждения сетчатки глаза и её пигментного эпителия. Такое излучение представляет повышенную опасность для глаз детей и подростков, так как их хрусталики вдвое прозрачнее в сине-голубой области, чем глаза взрослых людей. Фотохимическое повреждение сетчатки развивается в отдалённые сроки и вызывает постепенные необратимые нарушения зрения. Использование светильников с СД в детских учреждениях РФ может иметь непредсказуемые негативные и необратимые последствия для детского зрения и требует серьёзного профессионального офтальмофизиологического обоснования.

Ключевые слова: белые светодиоды, светофильтры, дети, подростки, хрусталик глаза, сетчатка, пигментный эпителий, фотоповреждение, липофусцин.

¹ E-mail: pavelzak@mail.ru

Публикация данной статьи вызвана испытаниями светильников с СД в школах Москвы (московская школа № 1666 «Феникс» ЦАО), проводимыми ФГБУН «Научный центр здоровья детей» РАМН по заказу ЗАО «Оптоган» и подготовкой документации в «Роспотребнадзор» на использование освещения светодиодами (ОССД) в детских учреждениях РФ (рабочее совещание в «НЦЗД» РАМН» от 03.05.2012).

В настоящее время практически все белые СД, выпускаемые самыми разными компаниями, имеют повышенное излучение в наиболее опасной для глаза спектральной полосе 440–460 нм. Соответствующие примеры приведены на рис. 1.

Вопрос об опасности избыточного сине-голубого излучения остро встал в первой половине XX века в результате многочисленных световых ожогов сетчатки глаз морских лётчиков США. В середине 1970-х группой физиологов в экспериментах на обезьянах [2] было показано, что различные пороги светового повреждения сетчатки в голубой области спектра (440–460 нм) в 50–100 раз ниже, чем для света основного зрительного ди-

апазона 500–700 нм (рис. 2). В дальнейшем этой же научной группой были получены многочисленные экспериментальные данные, которые легли в расчётную основу светогигиенических стандартов. При этом в экспериментах использовались малые длительности световой экспозиции, до 1000 с, не сопоставимые с длительностью повседневного освещения. Реальные дозы повреждения человеческой сетчатки светом сине-голубого диапазона могут оказаться близкими к полученным в экспериментах на крысах-альбиносах [3]: 3-часовое освещение при энергетической освещённости 0,64 Вт/м² в спектральной полосе 400–480 нм спустя 1–2 дня приводит к массовой, хотя и частично обратимой, гибели фоторецепторных клеток сетчатки. Другими словами, было показано, что даже слабый свет фиолетово-синего-голубого диапазона потенциально опасен для зрения человека.

Повреждение сетчатки коротковолновым видимым излучением – медленная фотохимическая цепная реакция, результаты которой постепенно накапливаются в течение всей жизни. Одним из действующих начал фотохимического повреждения является липофусцин [4] – фототоксичный пигмент старости, который из-за избирательного поглощения света (рис. 2) в полосе 440–460 нм генерирует свободные радикалы, отравляющие пигментный эпителий сетчатки. Токсичные гранулы липофусцина постоянно и необратимо накапливаются в клетках пигментного эпителия сетчатки и являются одной из основных причин её возрастных заболеваний. Накопление липофусцина зависит от интегральной световой нагрузки на глаза, и уже к (10–20)-летнему возрасту количество липофусциновых гранул, ответственных за степень фотоповреждения, достигает половинного значения от накапливаемого в течение всей человеческой жизни [5].

Множественная совокупность биологических и медицинских данных свидетельствует о том, что фототоксичные эффекты синего-голубого света являются кумулятивными и приводят к медленному необратимому падению зрительных функций. К настоящему моменту в мировой литературе накопилось до 1000 офтальмологических публикаций о конкретных механизмах этой «синего-голубой»

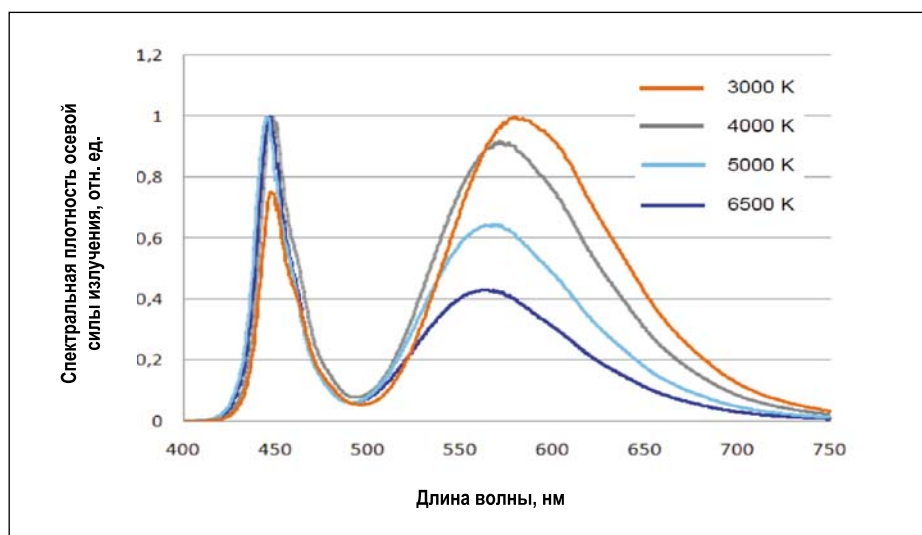


Рис. 1. Относительные спектры излучения белых светодиодов ЗАО «Оптоган» [1] и соответствующие значения коррелированной цветовой температуры

опасности, подтверждающих её серьезность в провоцировании необратимых возрастных потерь зрения. В качестве образца такой публикации можно сослаться на статью [6], по детской офтальмологии.

Одним из естественных защитных устройств глаза от «сине-голубой» опасности является хрусталик, ослабляющий свет в сине-голубой области спектра и этим снижающий степень фотоповреждения сетчатки. Существенно, что хрусталики детей практически вдвое прозрачнее в сине-голубой области спектра, чем хрусталики взрослых людей (рис. 3). Соответственно, риск фотоповреждения детских глаз минимум вдвое выше, чем глаз взрослых людей, хотя реальная опасность сине-голубой части излучения СД для детских глаз может быть оценена только дополнительными исследованиями. При этом можно заметить, что хрусталики глаз детей так же прозрачны для сине-голубого света, как оптические среды глаз крыс-альбиносов, использованных в работе [3].

К сожалению, отечественные специалисты, продвигающие и внедряющие ОССД, похоже, не ориентируются в медико-биологической литературе, появившейся в последние десятилетия и ещё не вошедшей в технические справочники. В свою очередь, авторы данной небольшой статьи не в состоянии в ней дать хотя бы популярное представление об опасности необратимых отдалённых негативных последствий ОССД для глаз детей. С дополнительными сведениями по этим проблемам можно частично ознакомиться в наших русскоязычных обзорах [8, 9].

Из белых СД наименее опасными для зрения представляются СД с коррелированной цветовой температурой T_u не выше 4000 К, у которых уровень излучения в сине-голубой части спектра не больше, чем в жёлто-оранжевой. Поэтому белые СД с T_u порядка 6500 К уже вызывают опасения.

Высокие T_u светильников с СД принципиально можно снижать с помощью соответствующих цветных светофильтров до 2700–4000 К. В качестве таких светофильтров могут выступать соответствующим образом объёмно окрашенные светорассеиватели светильников или же линзовые части СД, изготавливаемые по тем же

Рис. 2. Спектр действия фотоповреждения сетчатки обезьяны макака-резус при длительности световой экспозиции 1000 с [2] (синяя линия) и относительный спектр поглощения фототоксичного пигмента старости липофусцина [4] (оранжевая линия)

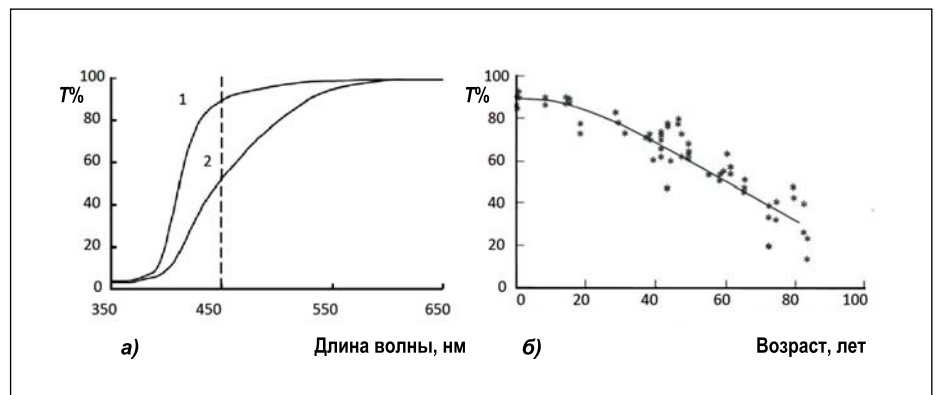
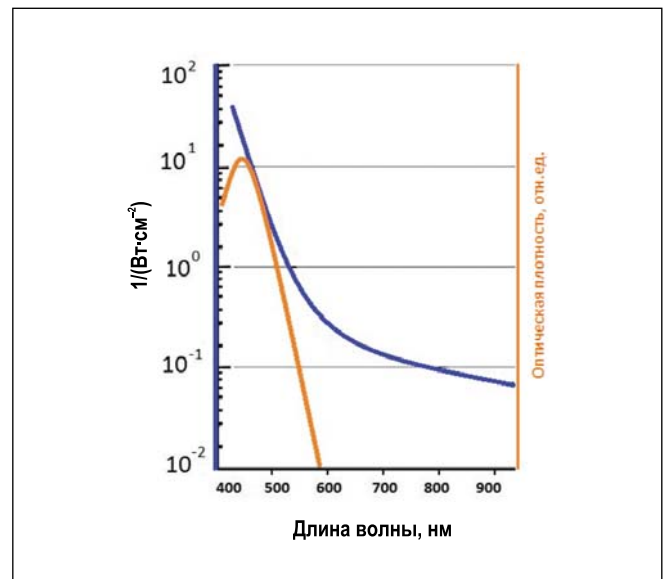


Рис. 3. Среднестатистические спектральные и возрастные зависимости коэффициента пропускания T хрусталиков глаз людей [7]: а – хрусталики (5–15)-летних (1) и (45–55)-летних (2) людей. Вертикальная метка акцентирует разницу в пропускании между хрусталиками очень молодых и взрослых людей; б – возрастная зависимость коэффициента пропускания хрусталиков на длине волны 440 нм. Звёздочками обозначены результаты индивидуальных измерений значений T

технологиям, что и используемые в производстве полимерных солнцезащитных очков и, отчасти, искусственных хрусталиков глаз [10, 11]. Применение такой спектральной коррекции не может давать заметных световых потерь, так как «вес» сине-голубой части спектра излучения в функции $V(\lambda)$ незначителен. С физиологической точки зрения центральная зона сетчатки, ответственная за остроту зрения и работу при чтении, вообще не нуждается в участии сине-голубой составляющей в освещении [8], так как сформирована без участия синечувствительных колбочек и является сине-слепой [12]. По расчётам, применение указанных корректирующих светофильтров практически не влияет на индекс цветопередачи R_a белых СД. Собственно, наши предложения по возможному применению

таких светофильтров сводятся к приближению белых СД по относительному спектру излучения к ЛН, которые в этом смысле не так уж плохи и на которые за сто с лишним лет применения не было никаких нареканий со стороны офтальмологов.

Заключение

В целом, по нашему мнению, в настоящий момент использование светильников с СД в детских учреждениях может иметь абсолютно непредсказуемые негативные последствия. Поэтому мы будем настаивать на проведении предварительных исследований по оценке безопасности белых СД для глаз детей и подростков с участием профильных специалистов в области физиологии зрения и детской офтальмологии.

Благодарности

Авторы приносят благодарность доктору биол. наук А.Е. Донцову за научные консультации, кандидату биол. наук Н.Н. Трофимовой за неизменную библиографическую помощь, Президиуму РАН за финансовую поддержку в рамках Программы «Фундаментальные науки – медицине» по работам, связанным с экспериментальным моделированием процессов фотостарения сетчатки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. URL: <http://www.optogan.ru> (дата обращения 10.05.2012).
2. Ham, W.T., Mueller, H.A., Sliney, D.H. Retinal sensitivity to damage from short wavelength light // Nature. – 1976. – Vol. 260. – № 5547. – P. 153–155.
3. Wu, J. et al. Blue light induced apoptosis in rat retina // Eye. – 1999. – Vol. 13. – P. 577–583.
4. Яковлева М.А. и др. Вызванные видимым светом изменения спектров флуоресценции флуорофоров липофусциновых гранул, полученных из ретинального пигментного эпителия кадаверных глаз человека // Офтальмохирургия. – 2009. – № 5. – С. 59–64.
5. Feeney-Burns, L., Eldred, C.E. The fate of the phagosome: conversion to «age pigment» and impact in human retinal pigment epithelium // Trans. Ophthalmol. Soc. UK. – 1984. – Vol. 103. – P. 416–421.
6. Kitchel, E. The Effects of Blue Light on Ocular Health // J. Vis. Impair. Blind. – 2000. – Vol. 94. – № 6. – P. 357–361.
7. Федорович И.Б., Зак П.П., Островский М.А. Повышенное пропускание хрусталика глаза в раннем детстве и его возрастное пожелтение // Доклады Академии Наук. – 1994. – Т. 336. – № 6. – С. 12–17.
8. Островский М. А. Молекулярные механизмы повреждающего действия света на структуры глаза и системы защиты от такого повреждения // Успехи биологической химии. – 2005. – Т. 45. – С. 173–204.
9. Зак П.П., Егорова Т.С., Розенблюм Ю.З., Островский М.А. Спектральная коррекция зрения: научные основы и практические приложения. – М.: Научный мир, 2005. 192 с.
10. Островский М.А. и др., Светофильтр для наблюдения в условиях плохой видимости // Авторское свидетельство СССР № 1399694. 1988.
11. Федоров С.Н. и др. Искусственный хрусталик глаза и полимерная композиция для изготовления искусственного хрусталика // Авторское свидетельство СССР № 176113. 1992.

12. Wald, G. Blue-blindness in normal eye // J. Opt. Soc. Am. – 1967. – Vol. 5. – № 11. – P. 1289–1292.



Зак Павел Павлович, доктор биол. наук, профессор. Окончил в 1968 г. кафедру физиологии человека и животных биофака МГУ им. М.В. Ломоносова. Ведущий научный

сотрудник ФГБУН «Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН» и старший научный сотрудник ФГБУН «МНТК микрохирургия глаза им. С.Н. Федорова» Росмедтехнологии». Лауреат Премии Правительства РФ в области науки и техники 2006 г. за «Научное обоснование, разработку и внедрение в офтальмологическую практику искусственных хрусталиков с естественной окраской». Основные направления научной деятельности: экспериментальное моделирование старения сетчатки глаза под действием света и разработка полимерных светофильтрующих материалов для защиты глаз. Основатель научно-медицинского направления «Спектральная коррекция зрения»



Островский Михаил Аркадьевич, доктор биол. наук, профессор. Академик РАН. Окончил в 1958 г. кафедру физиологии человека и животных биофака МГУ

им. М.В. Ломоносова. Зав. отделом фотохимии и фотобиологии ФГБУН «Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН», зав. лабораторией молекулярной физиологии ФГБУН «МНТК микрохирургия глаза им. С.Н. Федорова Росмедтехнологии» и зав. кафедрой молекулярной физиологии биофака МГУ им. М.В. Ломоносова. Лауреат Премии Правительства РФ в области образования 2005 г. за учебник «Физиология человека». Лауреат Премии Правительства РФ в области науки и техники 2006 г. за «Научное обоснование, разработку и внедрение в офтальмологическую практику искусственных хрусталиков с естественной окраской». Президент Российского общества физиологов им. И.П. Павлова. Основатель отечественной научной школы по исследованию молекулярных механизмов зрения в норме и при патологии



OSRAM освещает Чемпионат Европы по футболу 2012 года

Компания представила новейшие энергосберегающие технологии освещения для четырёх стадионов в Польше и Украине, принимающих Чемпионат Европы по футболу с 8 июня по 1 июля 2012 г.

Освещение Национального стадиона в Варшаве наиболее эффективно. OSRAM предоставила передовые решения для фасада стадиона, который задействован в качестве гигантского экрана. При этом светодиодные системы производства дочерней компании OSRAM Traxol, содержащие в общей сложности 1700 светодиодных ламп, окрашивают корпус стадиона в цвета национального флага Польши – красный и белый. Оборудование переплетённых элементов корпуса здания светодиодными линейными лампами серии «XB 36 LED», со специально разработанными для проекта держателями, обеспечивает единообразное освещение отдельных панелей, а интеллектуальная система управления освещением позволяет создавать уникальные эффекты. Кроме Варшавы, OSRAM предоставила осветительное оборудование для стадионов в Гданьске, Киеве и Львове.

Успешные проекты компании OSRAM в области спортивного освещения включают и стадион «Альянс-Арена», расположенный в северной части Мюнхена, на котором тренируются профессиональные футбольные клубы «FC Bayern München» и «TSV 1860 München». Стадион – первый в мире футбольный объект, у которого, благодаря технологии OSRAM и Siteco, дочерней компании OSRAM, может меняться цвет всего фасада. Стадион окрашивается в красный цвет, когда играет «FC Bayern München», в голубой, когда играет «TSV 1860 München», и в белый, когда приезжает сборная команда Германии.

После реконструкции системы прожекторного освещения «Альянс-Арены», в начале текущего сезона OSRAM планирует создавать уникальные световые эффекты, используя усовершенствованные светодиодные технологии для «зала славы» футбольного клуба «FC Bayern München», начиная с середины 2012 г. Проект предусматривает использование различных светодиодных компонентов, интеллектуальных систем управления и органических светодиодных ламп для освещения указанного «зала славы».

Компания OSRAM имеет обширный опыт освещения крупнейших спортивных мероприятий. Например, на всех десяти стадионах, принимавших Чемпионат мира по футболу в ЮАР в 2010 г., использовались ее энергосберегающие технологии. Наиболее эффективным стало освещение светодиодами грандиозной арки, простирающейся над всем стадионом в Дурбане.

Пресс-релиз

О биологическом эквиваленте излучения светодиодных и традиционных источников света с цветовой температурой 1800–10000 К

А.В. АЛАДОВ, А.Л. ЗАКГЕЙМ¹, М.Н. МИЗЕРОВ, А.Е. ЧЕРНЯКОВ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Научно-технологический центр микроэлектроники и субмикронных гетероструктур РАН», Санкт-Петербург

Аннотация

В статье анализируются вопросы биологического воздействия излучения ряда светодиодных и традиционных источников света (ИС) с различным спектром излучения (коррелированной цветовой температурой T_u). Понятие биологического воздействия связывается с меланопсинсодержащими рецепторами глазной сетчатки, сигналы от которых поступают в эпифиз и регулируют концентрацию гормона мелатонина в крови. Показано, что в зависимости от типа ИС и особенностей его спектра биологическое воздействие может меняться в широких пределах даже при одном и том же зрительном действии.

Ключевые слова: светодиод, источники освещения, спектральная чувствительность, цветовая температура, зрительное и биологическое воздействие

1. Введение

В последние годы в связи с быстрым распространением светодиодных ИС (СД ИС) усилился интерес не только к техническим характеристикам (световая отдача, качество цветопередачи, T_u , цена за 1 клм и др.), но и к медико-биологическим аспектам новых технологий освещения, базируемых на светодиодах (СД). При этом существенны вопросы как непосредственной опасности поражения зрительных органов излучением СД [1, 2], так и возможные последствия для психофизиологического и физического здоровья людей длительного нахождения при освещении светодиодами. Разумеется, тема «свет и здоровье» не нова, однако сейчас её актуальность усиливается по крайней мере тремя обстоятельствами:

- люди проводят всё больше времени, включая светлую часть суток, при искусственном освещении, что обусловлено, в частности, расширяющимся строительством производственных и офисных безоконных помещений;

- новые СД ИС отличаются спектром излучения от традиционных «ламповых». Так, для наиболее распространённых сейчас белых СД с люминофорным преобразованием голубого излучения характерно наличие сильной голубой полосы с максимумом на длинах волн 450–460 нм и дефицит излучения в красной области, 630–750 нм. При использовании белых СД на основе принципа цветосмещения (RGB-принцип) впервые в технике освещения реализуется возможность динамического управления их цветностью излучения². Благодаря этому можно, в частности, имитировать суточные изменения естественного света или, наоборот, создавать специальную световую среду, активно влияющую на биологические процессы в организме человека;

- важные открытия в области физиологии световосприятия, сделанные в последнее десятилетие [4–6], ведут к пересмотру представлений о «правильном» освещении, в основном учитывающем пока что выполнение норм по освещённости.

Совокупное биологическое и зрительное воздействие света определяется множеством процессов, активно изучаемых и дискутируемых в последнее время [7–9]. Данная работа посвящена одному из механизмов светового воздействия – каналу биологических часов, синхронизирующему внутренние процессы в организме с состоянием световой среды.

2. Методика эксперимента и экспериментальные образцы

По современным представлениям человеческий глаз имеет два канала восприятия излучения:

- зрительный канал, сенсорами для которого являются хорошо известные 3 типа колбочек (цветное дневное зрение) и палочки («серое» сумеречное зрение);

- открытый сравнительно недавно [4–6, 10] незрительный (так называемый, биологический) канал на основе меланопсинсодержащих ганглиозных клеток сетчатки, сигналы от которых поступают непосредственно в эпифиз – нейроэндокринный орган, регулирующий секрецию гормона мелатонина в кровь. В простейшем представлении биологическое действие заключается в том, что сильное освещение подавляет секрецию мелатонина, вызывая состояние активности, а слабая освещённость или её отсутствие способствуют выработке мелатонина, приводя к состоянию расслабления и сна. Для примера, разница в концентрации мелатонина в крови спящего и бодрствующего ребёнка достигает 40 крат [11].

Отметим, что канал биологических часов в том или ином виде существует у всех живых организмов и является следствием длительной эволюции в условиях суточной цикличности солнечного освещения. Последние медико-биологические исследования подтверждают, что отклонения от естественных суточных колебаний содержания мелатонина в крови, сложившихся в ходе биологической эволюции, не исчерпываются нарушениями психического состояния (бессонница, депрессия, тревога [12–14]), но, накапливаясь в течение длительного времени, ведут к тяжёлым последствиям для общего здоровья человека: преждевременное старение, потеря репродуктивной функции, развитие рака груди и др. [15–17].

В этой связи заметный интерес представляет исследование различных искусственных ИС с точки зрения биологического действия, а именно оценка их влияния на концентрацию мелатонина в крови при одном и том же зрительном эффекте (T_u и освещённости). На сегодня такое исследование может быть проведено без участия «медицинской составляющей», опираясь на давно извест-

¹ E-mail: zakgeim@mail.ioffe.ru

² В статье [3] это качество названо «*smart light*».

Рис. 1. Функция $V(\lambda)$ и относительный спектр биологического (подавление секреции мелатонина) действия $B(\lambda)$ на фоне относительных спектров излучения: ЛН с $T_u=2750\text{ K}$ (1), КЛЛ с $T_u=4350\text{ K}$ (2) и белого люминофорного СД с $T_u=6300\text{ K}$ (3)

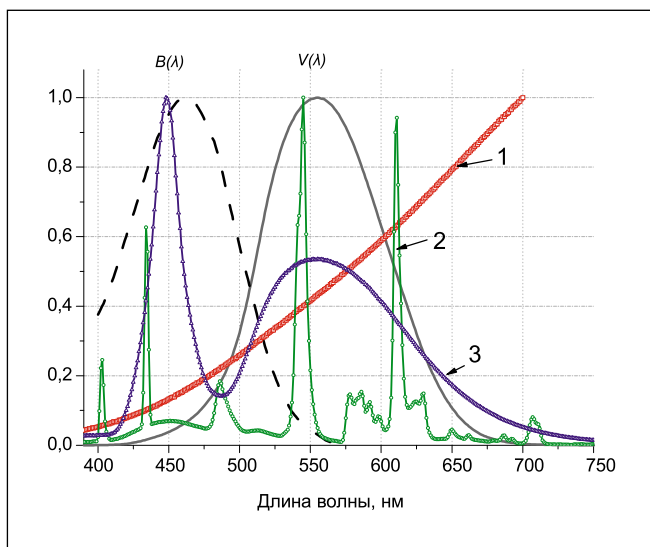


Рис. 2. Относительные спектры излучения промышленно выпускаемых светодиодных ламп (Osram, Toshiba и др.) и соответствующие им T_u и R_a

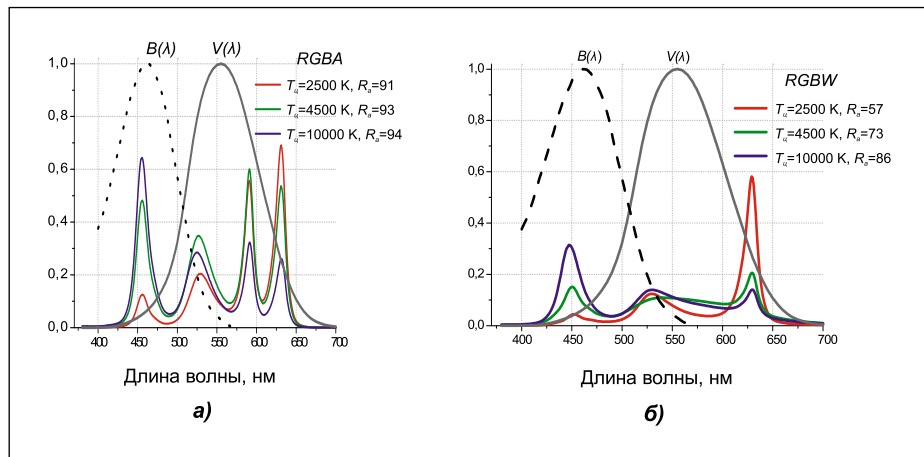
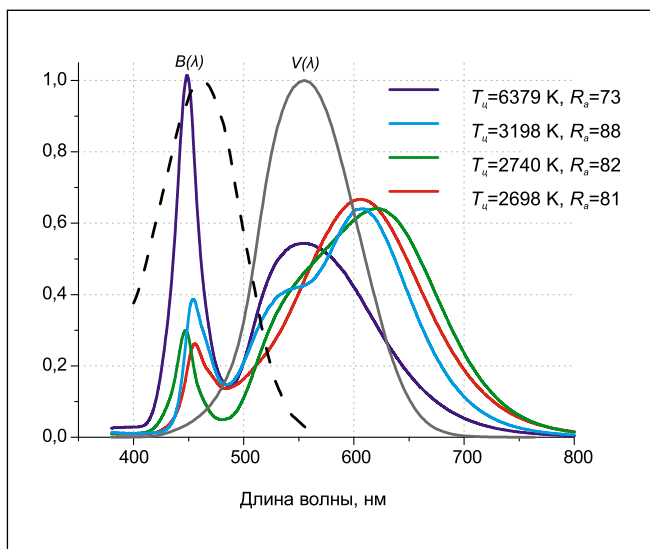


Рис. 3. Относительные спектры излучения светодиодных ламп на основе цветосмещения, соответствующие значениям $T_u = 2500, 4500$ и 10000 K : а – вариант RGBW; б – вариант RGBW_c

ную ФОССЭ для дневного зрения $V(\lambda)$ и сравнительно недавно установленный спектр биологического (подавление секреции мелатонина) действия $B(\lambda)$ [9, 18] (рис. 1).

Как видно из рис. 1, максимум $B(\lambda)$ лежит в диапазоне волн 446–477 нм, т. е. сдвинут примерно на 200 нм влево от максимума $V(\lambda)$ и, что особенно существенно для нашего рассмотре-

ния, совпадает с максимумом сильной голубой полосы спектра излучения широко распространённых белых люминофорных СД.

Для расчёта биологического эквивалента излучения использовалась следующая методика:

1) Вначале функция относительной спектральной плотности потока излучения каждого i -го ИС $\Phi_e(\lambda)_i$ нормировалась, $\Phi_e(\lambda)_i, norm$, по условию одинакового зрительного воздействия или, другими словами, одинакового светового потока (пусть условно в 100 лм), определяемого как

$$\Phi_{v,i} = 683 \int_{380}^{770} \Phi_e(\lambda)_i, norm B(\lambda) d\lambda = const = 100.$$

2) Далее рассчитывался соответствующий биологический эквивалент $BioEq_i$, равный интегралу перекрытия $\Phi_e(\lambda)_i, norm$ с $B(\lambda)$:

$$BioEq_i = \int_{380}^{770} \Phi_e(\lambda)_i, norm B(\lambda) d\lambda.$$

Измерения спектральных, электрических и световых характеристик ИС проводились на установке «OL 770-ED High-speed LED Test and Measurement System UV/VIZ/NIR: 250–1100 nm», а обработка спектров и численное интегрирование выполнялись по программе «Origin 8.5».

В качестве исследуемых образцов были выбраны ИС 3-х групп:

- серийные белые СД-лампы (производства Osram, Toshiba и др.) с $T_u=2700, 2740, 3200$ и 6380 K и индексом цветопередачи $R_a = 72–88$ (рис. 2);

- серия разрабатываемых в нашем НТЦ микроэлектроники РАН динамически управляемых ИС медицинского назначения на базе RGBW- и RGBW_c-полихромных (полноцветных) светодиодных систем [19, 20]. Здесь RGBW (Red-Green-Blue-Amber) обозначает смешение излучения четырёх монохромных кристаллов СД с пиковыми длинами волн 460, 530, 595 и 630 нм (рис. 3, а). В комбинации RGBW_c вместо янтарного (A) кристалла используется голубой с люминофорным покрытием – как источник холодно-белого (W_c) света ($T_u=6300\text{ K}$) (рис. 3, б);

- для сравнения, помимо СД, исследовались ЛН общего назначения

Значения биологического эквивалента $BioEq$ для всех типов источников света, участвовавших в эксперименте

Тип источника	Визуальное восприятие			Биологический эквивалент	Примечание: рекомендации к применению*
	Φ , лм	T_{cp} К	R_a	$BioEq$, %	
ЛН	100	2800	99,8	100	Условно принято за «эталон» $Bio.Eq=100\%$
КЛЛ	100	2860	80	83	Безопасно
		4350	79	158	Нежелательно?
НЛВД	100	-	-	52	Безопасно
СД-лампы с люминофором	100	2698	81	87	Безопасно
		3198	88	114	Нежелательно?
		6379	73	231	Опасно?
СД-лампы $RGBA$	100	2500	91	74	Безопасно
		3200	93	115	Безопасно
		4500	93	168	Нежелательно?
		6500	93	206	Опасно?
		10000	94	232	Опасно?
СД-лампы $RGBW_c$	100	1800	54	56	Безопасно
		2500	57	83	Безопасно
		4500	73	180	Нежелательно?
		6500	88	247	Опасно?
		10000	86	309	Опасно?

* Оценки «Нежелательно?», «Опасно?» носят предварительный характер и относятся к потенциальной угрозе с точки зрения мелатонинового фактора. Разумеется, для окончательных выводов требуются длительные медико-биологических исследования.

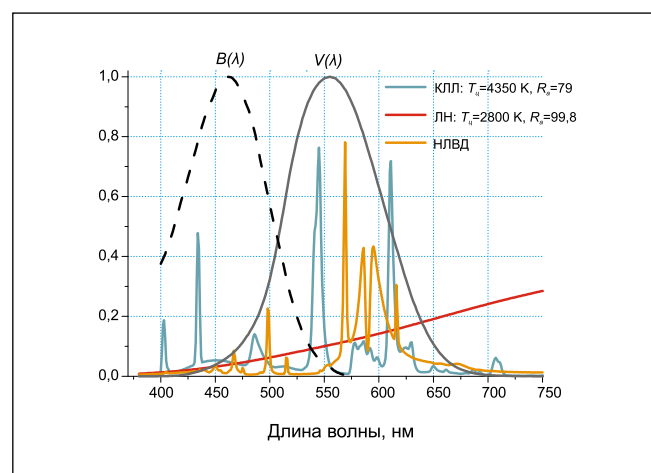
с $T_{cp}=2800$ К, КЛЛ с $T_{cp}=2700$ и 4300 К и НЛВД³ (рис. 4).

3. Экспериментальные результаты и их обсуждение

Как видно из таблицы, заметно выделяются степень биологической активности «по мелатонину», до 230–310%, холодно-белые СД ИС с $T_{cp} > 6000$ К (интересно, что такие же ИС оказывают и наибольшее влияние на электроэнцефалограмму головного мозга [13]). Для ИС с $T_{cp}=3200$ – 4500 К (нейтрально-белые) характерны примерно в 1,2–1,5 раза большие $BioEq$, чем у ЛН общего пользования. Наконец, для СД-ламп тепло-белого света, синтезируемого по принципу цветосмешения, значения $BioEq$ даже меньше, чем у ЛН.

Полученные результаты, в общем, коррелируют с данными работы на близкую тему [21], но в то же время мнения о реальной опасности освещения, «перегруженного» голубой

Рис. 4. Относительные спектры излучения ЛН с $T_{cp} = 2800$ К, КЛЛ с $T_{cp} = 4350$ К и НЛВД



компонентой, заметно разнятся. Кроме того, на взгляд некоторых специалистов, цитируемых в обзоре [22], освещение белыми люминофорными СД даёт пятикратное снижение уровня мелатонина в крови по сравнению с освещением НЛВД, и следует ввести тотальный запрет на вечернее освещение с использованием ИС с заметной долей излучения с длинами волн короче 540 нм. Вместе с тем другие исследователи подчеркивают, что важны не только спектраль-

ные характеристики ИС, но и длительность освещения. Так, в том же обзоре [22] приводятся данные, что час пребывания в условиях освещения холодно-белыми СД снижает содержание мелатонина в крови всего лишь на 3–8%.

4. Заключение

Наши исследования показывают, что современные ИС, применяемые для наружного и внутреннего осве-

³ НЛВД, хотя и не является источником белого света, широко используется для уличного и дорожного освещения.

щения, могут заметно, до 6 крат, различаться по *BioEq* генерируемого ими света в зависимости от их типа и $T_{\text{ч}}$. Особенно высокие *BioEq* присущи ИС, содержащим люминофорные СД холодно-белого света (с $T_{\text{ч}} > 6000 \text{ К}$). Освещение таким светом потенциально опасно нарушением норм концентрации мелатонина в крови, что, в свою очередь, ведёт к ряду быстро или медленно развивающихся заболеваний. Реальная степень угрозы передозировки облучением холодно-белым светом люминофорных СД остаётся предметом активных дискуссий и требует дальнейших медико-биологических исследований. Однако и сейчас, до получения общепризнанных медицинских выводов по указанной проблеме, следует проявлять предусмотрительность и осторожность в выборе характера освещения и, по крайней мере, ограничивать применение СД холодно-белого света в детских и лечебных учреждениях, а также при работе в вечернее и ночное время.

На наш взгляд, главная перспектива создания здоровой световой среды связана с новыми технологиями освещения, базируемыми на СД ИС, меняющих свой спектр (цветность, $T_{\text{ч}}$) в течение суток: более тёплые тона – утром и вечером, а более холодные – в середине дня. Одним из подтверждений продвижения по этому пути служит недавнее сообщение компании *Philips* [23] о благотворном влиянии такого освещения на пациентов кардиологического отделения медицинского центра Маастрихтского университета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lyons, L. LED-based products must meet photobiological safety standards: part 1// LEDs magazine. – 2011. – Vol. 46. – October – P. 31.
2. IEC 62471:2008 «Photobiological safety of lamps and lamp systems».
3. Schubert, E.F., Kim, J.K. Solid-State Light Sources Getting Smart// Science. – 2005. – Vol. 308. – No. 5726. – P. 1274–1278.
4. Berson, D.M., Dunn, F.A., Takao, M. Phototransduction by Retinal Ganglion Cells That Set the Circadian Clock// Science. – 2002. – Vol. 295. – P. 1070.
5. Brainard, G., Hanifin, J., Greeson, J., Byrne, B., Glickman, G., Gerner, E., Rollag, M. Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor// Journal of Neuroscience. – 2001. – Vol. 21. – No. 16. – P. 6405.

6. Thapan, K., Arendt, J., Skene, D. An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans// J. Physiol. – 2001. – Vol. 535 (pt 1). – P. 261.

7. IES TM-18-08 «Light and Human Health: An Overview of the Impact of Light on Visual, Circadian, Neuroendocrine and Neurobehavioral Response».

8. Wright, M. Debate continues over the impact of light on human health// LEDs magazine. – 2010. – Vol. 46. – August. – P. 25.

9. Light at Night: The Latest Science. US Department of Energy, Solid State Lighting Program. URL: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/ssl_whitepaper_nov2010.pdf (дата обращения: 11.05.2012).

10. Brainard, G., Glickman, G. Photoreceptor system for melatonin regulation and phototherapy// Патент США № 7678140. 2011.

11. Анисимов В.Н. Хронометр жизни// Природа. – 2007. – № 7. – С. 3–10.

12. Figueiro, M., Bierman, A., Plitnick, B., Rea, M. Preliminary evidence that both blue and red light can induce alertness at night// BMC Neuroscience. – 2009. – Vol. 10. – P. 10.

13. Слезин В.Б., Корсакова Е.А., Шульц Е.В., Аладов А.А., Закгейм А.Л., Мизеров М.Н. Воздействие белого света с варьированной цветовой температурой на электроэнцефалограмму человека// Вестник новых медицинских технологий 2012 (в печати).

14. Katsura, T., Jin, X., Baba, Y. Y. Shitotomura, Y., Iwanaga, K. Effects of color temperature of illumination on physiological functions// J. Physiol Anthropol Appl Human Sci. – 2005. – Vol. 24. – No. 4. – P. 321.

15. Анисимов В.Н. Мелатонин роль в организме, применение в клинике// РМЖ. – 2006. – Т. 14. – № 4. – P. 269.

16. Анисимов В.Н. Эпифиз, биоритмы и старение организма// Успехи физиологических наук. – 2008. – Т. 39. – № 4. – С. 52–60.

17. Kloog, I., Portnov, B.A., Rennert, H.S., Haim, A. Does the Modern Urbanized Sleeping Habitat Pose a Breast Cancer Risk?// Chronobiology International. – 2011. – Vol. 28. – No. 1. – P. 76.

18. Brainard, G., Sliney, D., Hanifin, J., et al. Sensitivity of the human circadian system to short-wavelength (420-nm) light// J. Biol. Rhythms. – 2008. – Vol. 5. – P. 379.

19. Аладов А.В., Васильева Е.Д., Закгейм А.Л., Иткинсон Г.В., Лундин В.В., Мизеров М.Н., Устинов В.М., Цацульников А.Ф. О современных мощных светодиодах и их светотехническом применении// Светотехника. – 2010. – № 3. – С. 8–16. №.3 (2010), 8

20. Аладов А.В., Бирючинский С.Б., Дубина М.В., Закгейм А.Л., М.Н.Мизеров М.Н. Цветодинамический управляемый операционный светильник с полноцветным светодиодом// Светотехника. – 2012. – № 2. – С. 13–18.

21. Ван Боммель В. Лампы для прямой замены ламп накаливания и здоровье// Светотехника. – 2011. – № 2. – С. 20–24.

22. The True Knowledge about White LEDs and Biological Clocks// LED professional Review. – 2011. – Vol. 28. – P. 22.

23. Philips and Maastricht University study lighting impact on cardiac patients. URL: <http://www.ledsmagazine.com.news/8/11/33> (дата обращения: 11.05.2012).



Аладов Андрей Вальменович, физик. Окончил в 1981 г. физический факультет Белорусского государственного университета. Старший научный сотрудник ФГБУН

«Научно-технологический центр микроэлектроники и субмикронных гетероструктур РАН»



Закгейм Александр Львович, кандидат техн. наук. Окончил в 1972 г. Ленинградский электротехнический институт им. В.И. Ульянова (Ленина).

Заместитель директора по научной работе и заведующий сектором оптоэлектронных приборов ФГБУН «Научно-технологический центр микроэлектроники и субмикронных гетероструктур РАН»



Мизеров Михаил Николаевич, кандидат физ.-мат. наук. Окончил в 1971 г. Ленинградский институт точной механики и оптики. Директор ФГБУН «Научно-

технологический центр микроэлектроники и субмикронных гетероструктур РАН»



Черняков Антон Евгеньевич, инженер. Окончил в 2006 г. Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина). Научный

сотрудник ФГБУН «Научно-технологический центр микроэлектроники и субмикронных гетероструктур РАН»

Спектры излучения светодиодов и спектр действия для подавления секреции мелатонина

Г. БИЖАК, М.Б. КОБАВ¹

Люблянский университет, Любляна, Словения.

Аннотация

В статье описывается влияние более сорока источников света на секрецию мелатонина. Как известно, мелатонин является чрезвычайно важным гормоном. Нерегулярность циклов изменения концентрации мелатонина может вести к различным заболеваниям. Показано, что монохроматические источники света с излучением в жёлтой части видимого спектра (НЛНД и янтарные светодиоды) оказывают меньшее влияние на секрецию мелатонина. Наибольшее влияние оказывают светодиоды с высокими значениями коррелированной цветовой температуры.

Ключевые слова: мелатонин, подавление секреции, спектр действия, влияние спектра излучения.

1. Введение

За последнее время было опубликовано большое количество статей, посвящённых влиянию цвета света на секрецию мелатонина и связанным с этим проблемам со здоровьем людей. В одной из этих статей [1] написано, что именно синий свет наиболее эффективно подавляет секрецию мелатонина в теле человека. Затем автор ссылается на заявления «Общества тёмного неба» и говорит, что недостаток мелатонина во время сна увеличивает вероятность заболевания раком молочной железы, раком предстательной железы и раком толстой кишки и вызывает нарушение циркадных ритмов (биоритмов), что может послужить причиной бессонницы, депрессии, ожирения и диабета второго типа.

Мы решили исследовать влияние цвета света, то есть спектров ряда серийных источников света, на секрецию мелатонина, так как в упомяну-

тых статьях именно ею аргументировалась потенциальная опасность некоторых источников света.

В основу определения влияния спектра излучения на секрецию мелатонина нами был положен спектр действия, приведённый в [2]. Эта кривая позволяет рассчитывать влияние конкретного спектра на подавление секреции мелатонина.

2. Предыстория

Люди настолько хорошо приспособлены и привычны к свету, что большую часть нашей повседневной жизни мы не осознаём его важность. И это осознание приходит только при недостатке света и соответствующей затруднённости выполнения различных зрительных задач или ориентации в пространстве.

Более 90% информации об окружающей среде человек получает посредством зрения, и именно поэтому свет столь важен для нас. Но важность света для живых организмов не ограничивается приносимой им зрительной информацией: с ним связаны ещё и так называемые не визуальные эффекты. Мы получаем зрительную информацию через средство рецеп-

торов – палочек и колбочек, которые известны уже давно, тогда как не визуальную информацию наше тело получает через посредство так называемых «рецепторов третьего рода».

Эти фоторецепторы третьего рода или светочувствительные ганглионарные клетки сетчатки содержат светочувствительный фермент меланопсин и по каналу связи между сетчаткой и гипоталамусом посылают информацию о свете в расположенное в гипоталамусе супрахиазмальное ядро. Чередование циклов света и темноты, воспринимаемое телом млекопитающего через глаза, влияет на функционирование супрахиазмального ядра и вызывает циклическую секрецию мелатонина шишковидной железой. Фактически, у всех организмов уровень мелатонина высок ночью и низок в дневное время (рис. 1). Поэтому этот гормон часто называют гормоном сна (*sleep hormone*).

Биоритмы человека регулируются гормонами. Наиболее важными в этом отношении гормонами являются мелатонин и кортизол. Кортизол влияет на многие функции нашего тела, в частности, на метаболизм и иммунитет. Концентрация кортизола максимальна утром, в периоды наибольшей занятости и в стрессовых ситуациях. Этот гормон часто называют гормоном стресса (*stress hormone*).

Выделение гормонов «синхронизировано» со светом, который ежедневно воздействует на человека. Если в глаза человека в нужный момент не поступает требуемое количество имеющего определённый цвет света, то это может привести к десинхронизации биоритмов, которая на первых

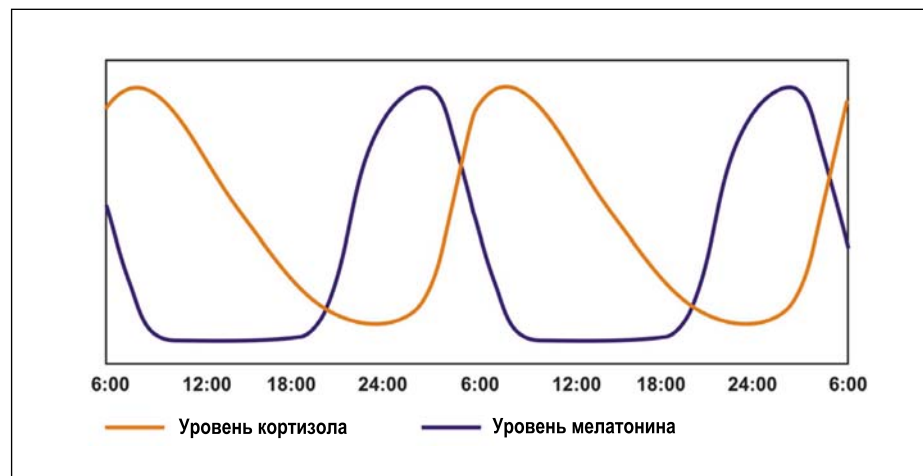


Рис. 1. Изменение концентрации мелатонина и кортизола на протяжении суток (48 часов)

¹ E-mail: matej.kobav@fe.uni-lj.si.

Перевод с английского Е.И. Розовского.

Рис. 2. Относительный спектр действия для подавления секреции мелатонина

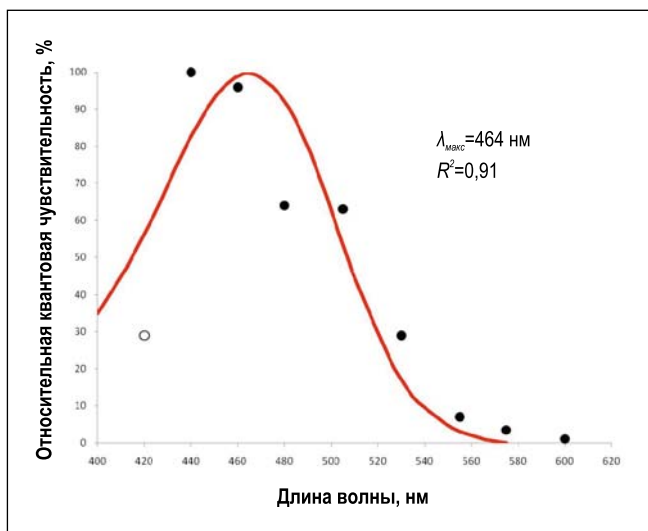
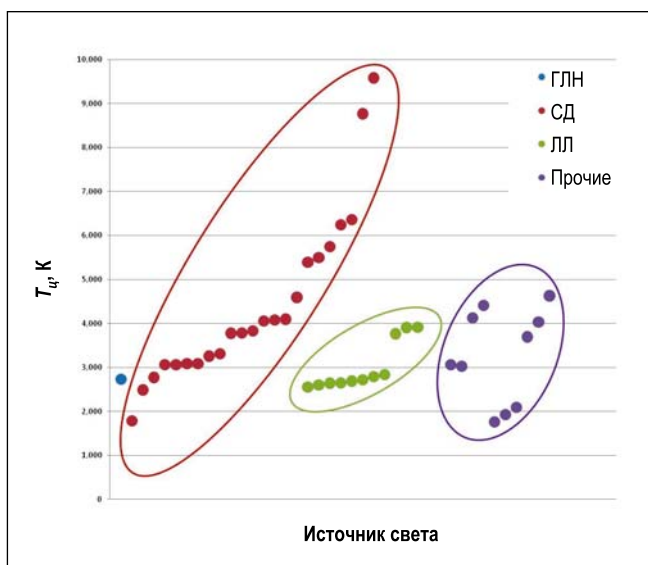


Рис. 3. Источники света и коррелированная цветовая температура (T_c)



порах проявляется в виде бессонницы, усталости и перепадов настроения, а впоследствии может привести к хроническим заболеваниям.

Мелатонин – это характерный для человека гормон. Он вырабатывается шишковидной железой, расположенной в центральной части мозга, но вне гематоэнцефалического барьера. Мелатонин участвует в протекании цикла сон-бодрствование, вызывая сонливость и уменьшая температуру тела. Как бы то ни было, именно центральная нервная система (особенно супрахиазмальное ядро) регулирует суточные циклы паракринной и эндокринной систем.

Известно, что, помимо прочего, мелатонин препятствует повреждению ДНК присутствующими в телах всех млекопитающих канцерогенными веществами, останавливая действие приводящих к образованию раковых опухолей механизмов.

3. Спектр действия

Получение спектра действия для секреции мелатонина дало возможность определять влияние внешних факторов на секрецию мелатонина и, соответственно, на циркадные ритмы. Защищённая патентом кривая (рис. 2) отражает влияние спектрального состава излучения на уменьшение секреции мелатонина. Кривая имеет пик на длине волны 464 нм. На рис. 2 закрашенными кружками показаны результаты исследования концентрации мелатонина при воздействии излучения на восьми длинах волн (440, 460, 480, 505, 530, 555, 575 и 600 нм). Исследования проводились с участием 72 здоровых людей. Рассчитанному для длины волны 420 нм значению соответствует незакрашенный кружок. Кривая лучше всего соответствует кривой чувствительности светочувствительного пигмента ретиналь-

дегид (витамин *A1*), максимум спектральной чувствительности которого приходится на 464 нм [3]. Коэффициент корреляции между чувствительностью этого светочувствительного пигмента и уменьшением секреции мелатонина чрезвычайно высок ($R^2 = 0,91$).

График показывает, что спектральная чувствительность фоторецепторов третьего рода, которые влияют на работу шишковидной железы, отличается от спектральной чувствительности зрительного восприятия человеческого глаза (колбочки и палочки). Данные, отражающие влияние восьми длин волн на подавление секреции мелатонина, очень хорошо ложатся на кривую спектральной чувствительности опсина витамина *A1*. Чувствительность этого опсина наиболее велика в диапазоне длин волн 446–447 нм, и под воздействием этих длин волн опсин оказывает наибольшее циркадное влияние на секрецию мелатонина. Исходя из полученных данных, можно утверждать, что открытый недавно светочувствительный пигмент глаза в первую очередь отвечает за регулирование содержания мелатонина. И именно поэтому регулирование содержания мелатонина отделяется от зрительного восприятия окружающей среды, обеспечиваемого колбочками (максимум чувствительности колбочек приходится на 555 нм) и палочками (максимум чувствительности палочек приходится на 509 нм).

Известно, что высокие уровни освещённости (2500–12000 лк) применяются для лечения зимней депрессии и борьбы с расстройством сна и нарушениями циркадных ритмов [4, 5]. Хотя эти терапевтические уровни освещённости действуют успешно, некоторые пациенты жалуются на побочные эффекты. Из них наибольшую известность получили слепящее действие, усталость, фотофобия, зрительный дискомфорт и головная боль. Зная спектр действия для уменьшения секреции мелатонина, можно значительно улучшить ситуацию для проходящих курс фототерапии пациентов. При помощи персонализируемого (позволяющего выбрать длину волны) медицинского оборудования можно существенно снизить уровни освещённости, тем самым увеличивая комфортность пациента.

Этим же способом, то есть посредством выбора подходящих источников

Источники света и коррелированная цветовая температура (T_u)

Ист. света	ГЛН	СД1	СД2	СД3	СД4	СД5	СД6	СД7	СД8	СД9	СД10	СД11
T_u , К	2726	1782	2488	2770	3060	3062	3083	3084	3255	3313	3776	3783
Ист. света	СД12	СД13	СД14	СД15	СД16	СД17	СД18	СД19	СД20	СД21	СД22	СД23
T_u , К	3834	4056	4075	4097	4593	5394	5501	5742	6240	6358	8768	9584
Ист. света	ЛЛ1	ЛЛ2	ЛЛ3	ЛЛ4	ЛЛ5	ЛЛ6	ЛЛ7	ЛЛ8	ЛЛ9	ЛЛ10	ЛЛ11	МГЛ1
T_u , К	2555	2600	2640	2645	2687	2717	2791	2839	3765	3906	3913	3064
Ист. света	МГЛ2	МГЛ3	Хе	НЛНД	НЛВД1	НЛВД2	ДРЛ	ЛСС	Луна			
T_u , К	3026	4127	4411	1760	1924	2090	3693	4035	4629			

света и, тем самым, спектрального состава излучения, можно обеспечить оптимизации и в других областях применения, таких как архитектурное и уличное освещение. Наилучшим для наружного освещения светом будет такой свет, спектр которого сосредоточен в области наибольшей чувствительности сумеречного зрения и урезан в области наиболее сильного подавления секреции мелатонина. Если нам удастся создать соответствующие источники света, то паразитный и отражённый свет уже не будут негативно влиять на секрецию мелатонина, и мы сможем спокойно спать в освещённых комнатах.

4. Источники света для внутреннего и наружного освещения

Для внутреннего и наружного освещения применяются различные источники света. ЛЛ используются в основном для внутреннего освещения нежилых помещений. Ртутные лампы ВД «ДРЛ» в прошлом использовались главным образом для освещения заводских цехов и спортивных сооружений (спортивных залов), тогда как теперь им на смену пришли МГЛ. До недавнего времени в жилых домах применялись преимущественно лампы накаливания, которые недавно стали заменяться на КЛЛ и другие более эффективные источники света. Что касается наружного освещения, то в старых осветительных установках в большинстве случаев применялись ДРЛ, тогда как в современных установках применяются главным образом НЛВД.

В последние годы мы могли наблюдать внедрение светодиодов (СД)

во все области применения освещения. Согласно некоторым заявлениям, в будущем СД должны решить почти все проблемы освещения. Первые СД появились в примерно в 1962 г., однако их область применения была ограничена сигнализацией, так как они имели очень низкие световые потоки, сосредоточенные исключительно в красной области спектра. Только недавно были разработаны мощные белые СД, которые могут использоваться в ОП. СД непрерывно совершенствуются, и их полученная в лабораторных условиях световая отдача впечатляет. При этом световые отдачи имеющихся в широкой продаже СД уже конкурируют по световой отдаче с высококачественными ЛЛ. Основным достоинством СД является направленный световой поток, который легко фокусировать на нужном участке. Их основными недостатками являются малая площадь излучателя, что приводит к высокой яркости (блёскости), и неэффективное охлаждение, которое имеет чрезвычайно важное значение в вопросе спада светового потока и срока службы. Сегодня для освещения используются главным образом СД с синими кристаллами и люминофором. Люминофор преобразует часть излучаемого синего света в широкополосное излучение с максимумом в жёлтой области спектра. Смесь жёлтого и синего воспринимается глазом человека как белый свет. Пока что это наиболее распространённый способ получения белого света с помощью СД. Очевидно, что так как синий кристалл светит в синей области спектра, то СД представляют собой потенциальную опасность для секреции мелатонина.

Для исследования влияния источника света на подавление секреции мелатонина мы постарались использовать как можно больше источников света. Мы измерили спектральные распределения излучения всех этих источников света в видимой области спектра в диапазоне от 380 до 780 нм. Были измерены одна ГЛН, двадцать три СД, одиннадцать ЛЛ, три МГЛ, «ксеноновая» автомобильная фара (Хе), одна НЛНД, две НЛВД и одна лампа смешанного света (ЛСС). Для сравнения был измерен спектр лунного света. Все спектры измерялись при помощи спектрорадиометра «Jeti specbos 1200». На основе измеренных спектров мы рассчитали соответствующие значения коррелированной цветовой температуры (T_u).

Источники света и соответствующие значения T_u приведены в табл. 1 и на рис. 3.

Как видно из рис. 3, диапазон изменения T_u СД очень широк, простираясь от 1782 до почти 10000 К. В случае ЛЛ измерения осуществлялись применительно к образцам с T_u между 3000 и 4000 К, так как наиболее часто используются именно такие лампы. У остальных источников света T_u лежат в пределах от 1760 К у НЛНД до 4629 К у луны.

5. Измеренные спектры

Спектры всех источников света измерялись при одном и том же значении освещённости, что достигалось посредством изменения расстояния между источником света и датчиком на фотометрической скамье. В случае спектра излучения луны измеренные значения пересчитывались применительно к тому же, что и для прочих

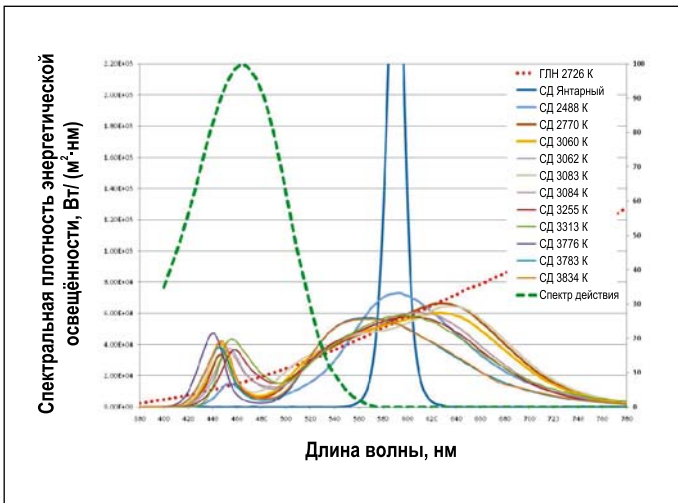


Рис. 4. Измеренные спектры излучения некоторых СД

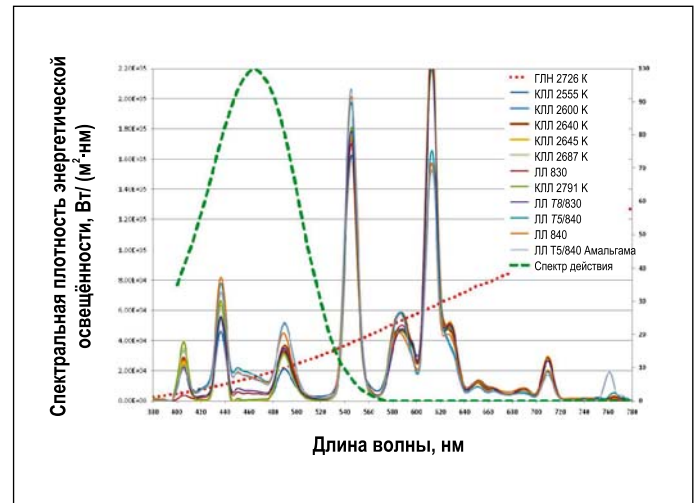


Рис. 5. Измеренные спектры излучения ЛЛ

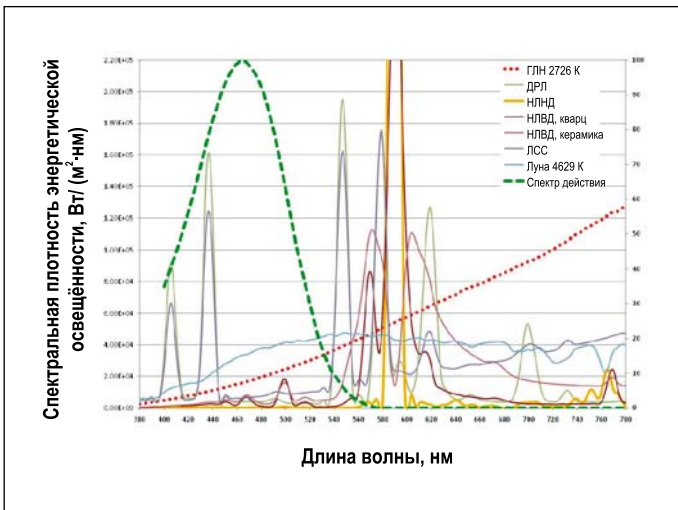


Рис. 6. Измеренные спектры излучения НЛНД, НЛВД, ДРЛ, ЛСС и луны

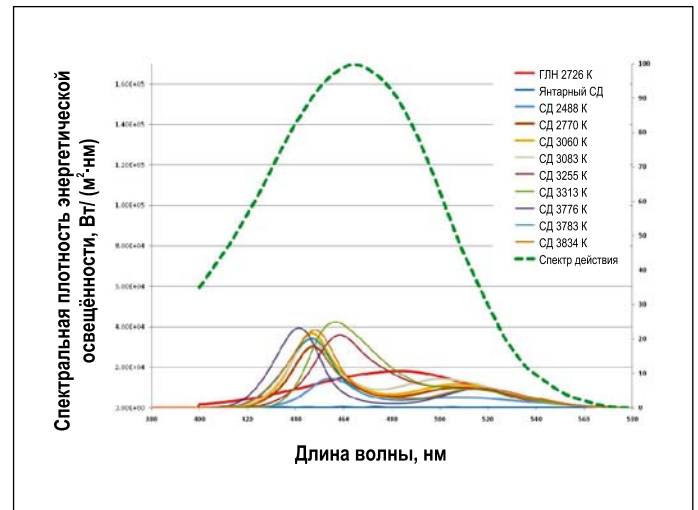


Рис. 7. Модифицированные спектры излучения СД

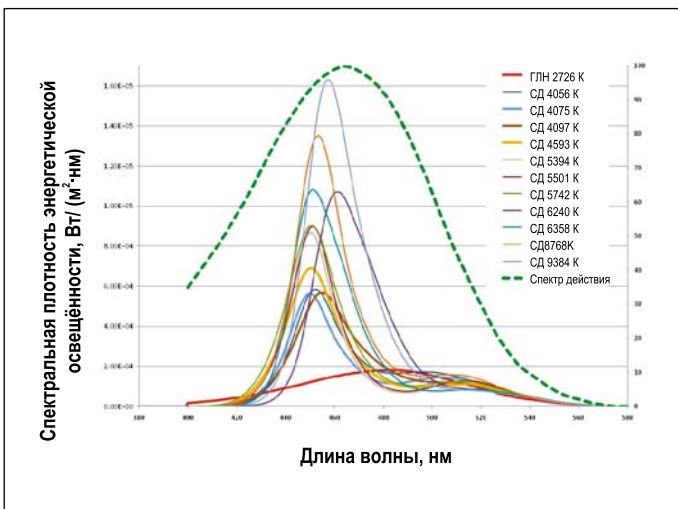


Рис. 8. Модифицированные спектры излучения СД

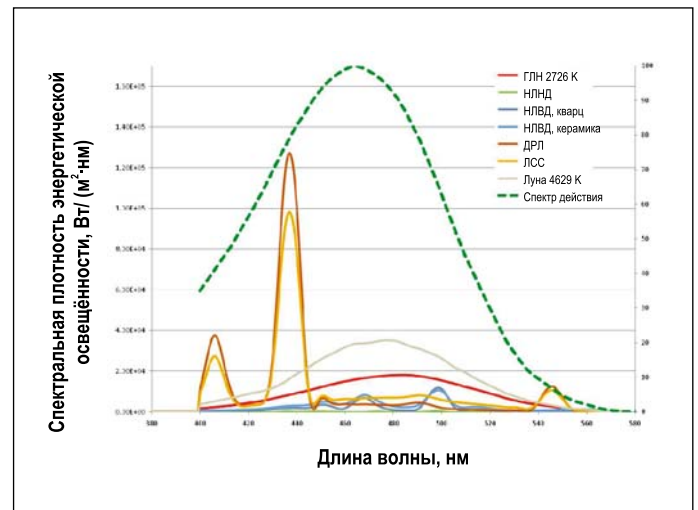


Рис. 9. Модифицированные спектры излучения НЛНД, НЛВД, ДРЛ, ЛСС и луны

источников света, уровню освещённости. Спектр излучения луны измерялся в ясную ночь в полнолуние при отсутствии в окружающем про-

странстве каких-либо других источников света.

Часть спектров излучения источников света приведена на рис. 4–6. Для

сравнения на всех рисунках показан спектр излучения ГЛН и спектр действия для подавления секреции мелатонина.

Относительное влияние различных источников света на подавление секреции мелатонина

Ист. света	ГЛН	СД1	СД2	СД3	СД4	СД5	СД6	СД7	СД8	СД9	СД10	СД11
Влияние, %	100	0,7	48,6	87,3	102,7	107,8	109,3	110,0	113,7	127,5	96,7	94,7
Ист. света	СД12	СД13	СД14	СД15	СД16	СД17	СД18	СД19	СД20	СД21	СД22	СД23
Влияние, %	102,7	162,7	149,6	163,0	174,3	184,9	191,5	216,5	253,4	236,7	192,4	333,7
Ист. света	ЛЛ1	ЛЛ2	ЛЛ3	ЛЛ4	ЛЛ5	ЛЛ6	ЛЛ7	ЛЛ8	ЛЛ9	ЛЛ10	ЛЛ11	МГЛ1
Влияние, %	61,8	72,5	78,3	74,4	75,3	80,7	80,9	91,2	149,0	141,0	139,6	106,2
Ист. света	МГЛ2	МГЛ3	Хе	НЛНД	НЛВД1	НЛВД2	ДРЛ	ЛСС	Луна			
Влияние, %	101,4	183,4	177,5	1,5	20,6	31,1	133,8	124,0	182,9			

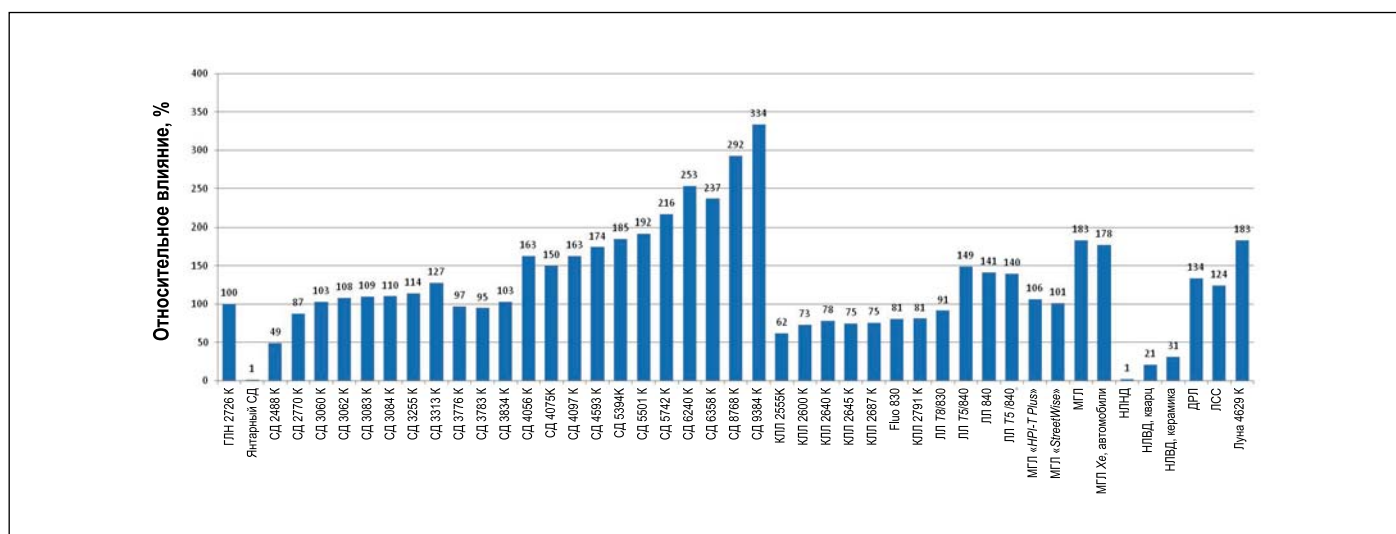


Рис. 10. Относительное влияние различных источников света на подавление секреции мелатонина

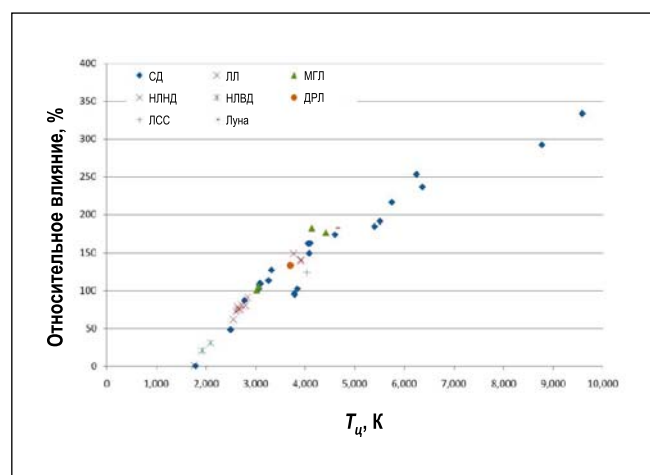
6. Расчёт влияния источника света на подавление секреции мелатонина

Для всех измеренных спектров мы при помощи спектра действия рассчитали актиничную дозу (*activation dose*). Это означает, что мы умножили значения энергетической освещённости, измеренные для всех длин волн спектра излучения источника света, на соответствующие тем же длинам волн значения спектральных эффективностей излучения (спектр действия).

В результате был получен модифицированный спектр, примеры которого приведены на рис. 7–9. Для сравнения на всех рисунках показаны спектр излучения ГЛН и спектр действия для подавления секреции мелатонина.

Для определения влияния источников света (или их спектров излучения) на подавление секреции мелатонина необходимо рассчитать актиничную дозу, представляющую собой резуль-

Рис. 11.
Относительное влияние коррелированной цветовой температуры на подавление секреции мелатонина



тат интегрирования модифицированного спектра по всей видимой области (380–780 нм), то есть площадь участка, ограниченного модифицированным спектром.

Для облегчения сравнения мы связали размеры актиничных доз с соответствующей ГЛН актиничной дозой. Так что соответствующая ГЛН

актиничная доза равна 100%, и именно к ней привязаны соответствующие всем остальным источникам света актиничные дозы. Полученные результаты приведены в табл. 2 и на рис. 10. Из источников света выделяются два, которым соответствуют очень маленькие актиничные дозы, что не удивительно – мы и ожидали, что моно-

хроматические источники света, излучающие в жёлтой области спектра (НЛНД и янтарные СД), очень слабо влияют на секрецию мелатонина. Результаты измерений только подтвердили, что источники света этих двух типов оказывают пренебрежимо малое влияние на секрецию мелатонина и, фактически, идеально отвечает пожеланиям, высказанным нами в конце раздела 3. Ожидалось, что и НЛВД будут слабо влиять на секрецию мелатонина. Результаты измерений подтвердили это предположение, так как влияние этих ламп примерно в пять раз слабее, чем у ГЛН.

Как видно на рис. 11, подавление секреции мелатонина почти линейно усиливается по мере роста $T_{\text{ч}}$ у всех исследованных типов источников света. Монохроматические источники света (НЛНД и янтарный СД) оказывают наименьшее влияние, тогда как имеющий наибольшую $T_{\text{ч}}$ (9584 К) СД оказывает наибольшее влияние. Интересно и то, что все ЛЛ с маркировкой Х30 (530, 830 или 930) оказывают на секрецию мелатонина меньшее влияние, чем ГЛН.

7. Заключение

В результате проведённых исследований нами было продемонстрировано наличие источников света, слабо влияющих на секрецию мелатонина и, тем не менее, излучающих свет в соответствующей сумеречному зрению области спектра. Однако не следует забывать, что оба эти источника света являются практически монохроматическими и не обеспечивают цветовосприятие окружающей среды. Спектры излучения янтарных СД и НЛНД имеют максимум на 590 нм, то есть вне зоны действия опсина витамина А1, чувствительность которого в области превышающих 550 нм длин волн составляет менее 5% от своего соответствующего 464 нм максимального значения. СД с ярко выраженными синими спектрами излучения (или небольшим количеством люминофора) подавляют секрецию мелатонина наиболее сильно. Синие СД, являющиеся основой большинства современных белых СД, имеют максимум излучения в интервале 450–460 нм, то есть как раз в области максимальной спектральной чувствительности опсина витамина А1. Поэтому негативное воздействие таких СД на

секрецию мелатонина оказывается на вплоть до 300% большим, чем у ГЛН. Если сравнить НЛНД и СД с $T_{\text{ч}} = 9584$ К, то окажется, что СД подавляет секрецию мелатонина в 225 раз сильнее.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Kutin, A.* Is the blue light an ecological disaster?//Статья в еженедельной газете «7 days», 20.01.2010, «Večer», Maribor, 2010.
2. *Brainard et al.*// US patent 7,678,140 B2, 2010.
3. *Partridge, J.C., De Grip, W.J.* A new template for rhodopsin (vitamin A1 based) visual pigments// Vision Research. – 1991. – Vol. 31, No. 4. – P. 619–630.
4. *Wetterberg, L.* Light and Biological Rhythms in Man// Stockholm: Pergamon Press, 1993.
5. *Lam, R.W.* Seasonal Affective Disorder and Beyond: Light Treatment for SAD and Non-SAD Conditions// Washington, D.C.: American Psychiatric Press, 1998.
6. URL: <http://sl.wikipedia.org/wiki/Melatonin/>



Грега Бижак (Grega Bizjak),

Dr., Prof. Руководитель
Лаборатории
освещения
и фотометрии
электротехнического
факультета
Люблянского
университета,

Словения. Основные научные интересы: применение приборов с зарядовой связью для измерения яркости, освещённости и других фотометрических величин, внутреннее и наружное освещение, естественное освещение. Член Словенского светотехнического общества, представитель Словении в отделении 2 МКО. Президент Словенского национального комитета МКО



Матей Б. Кобав (Matej B. Kobav),

Dr. Sc. (2009 г.).
Ассистент
Лаборатории
освещения
и фотометрии
электротехнического
факультета
Люблянского

университета, Словения. Основные научные интересы: моделирование освещения и использование естественного освещения. Генеральный секретарь Словенского светотехнического общества, представитель Словении в отделении 3 МКО



OSRAM разработала новую технологию светорегулирования энергосберегающих ламп

С 1 января 2011 г. в РФ, по примеру Евросоюза, запретили производство и продажу ламп накаливания мощностью от 100 Вт, а с 2014 г. под запрет попадут даже лампы накаливания мощностью 25 Вт. По Европейской директиве уже осенью этого года из продажи будут изъяты все виды ламп накаливания на территории европейских стран, на рынке останутся лишь энергосберегающие и светодиодные лампы.

Последние, однако, не наделены функциями диммирования и работы с электронными управляющими устройствами. В партнёрстве с ведущими электротехническими компаниями *Gira, Jung, Merten* и *Shneider* поставщик световых решений – компания OSRAM создаёт концептуально новый безопасный стандарт энергосберегающих ламп. Совместной разработкой лидеров светотехнического рынка стала «Ledotron» – цифровая технология светорегулирования ламп. Она способна заменить устройства, регулирующие уровень излучения путём изменения напряжения, подаваемого на источник света. Стало возможным дистанционное управление электроникой, встроенной в корпус лампы, по проводам питания. Это позволяет достигать ещё более существенной экономии электроэнергии как в быту, так и в офисах, отелях, ресторанах и других общественных помещениях.

Основная особенность технологии «Ledotron» в том, что светорегулятор любого вида заменяется на управляющий прибор, передающий регулирующие сигналы к лампам по сетевым проводам. Новая технология позволяет не только управлять световым потоком компактных люминесцентных ламп, но может использоваться и для изменения цвета излучения соответствующих конструкций светодиодных ламп или светильников со светодиодными модулями. Технология «Ledotron» обеспечивает бесступенчатое цифровое изменение яркости.

Передачу «Ledotron» в продажу OSRAM запланировала на июнь 2012 г.

Первыми лампами, в которые было решено интегрировать новую разработку, стала серия энергосберегающих ламп для профессионального применения «OSRAM DULUX® INTELLIGENT LEDOTRON» – ламп с технологией «QuickLight», которая позволяет достигать максимума излучения сразу после включения (рисунком).



Пресс-релиз