



НЕРАЦИОНАЛЬНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ КАК РИСК ЗДОРОВЬЮ В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ

В.А. Капцов¹, В.Н. Дейнего²

¹Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожной гигиены, Россия, 125438, г. Москва, Пакгаузное шоссе, 1, корп. 1

²Научно-производственная коммерческая фирма «ЭЛТАН ЛТД», Россия, 141190, г. Фрязино, Заводской проспект, 2

Оценены риски операторов, находящихся в мобильных зданиях, в условиях Арктического севера. Одним из важнейших факторов обитаемости, способным привести к развитию различных патологических состояний, сопровождающихся снижением работоспособности, является неадекватное освещение. В приведенном обзоре воздействия на операторов люминесцентного и светодиодного освещения вскрыты причины «эффекта последействия» светодиодного освещения в части увеличения латентности № 95 паттерна-электроретинограммы (ПЭРГ), которая характеризует состояние ганглиозных клеток зрительного анализатора. Сформулирована гипотеза, что уменьшение эффективности «торможения» обусловлено поглощением синего света в диапазоне 380–450 нм, а увеличение амплитуды P50 ПЭРГ обусловлено дополнительным увеличением потока ионов Na⁺, Ca⁺ при поглощении белком ChR2 избыточной дозы синего света 470 нм по сравнению с дозой синего в спектре люминесцентной лампы.

Показано, что состояние операторов после пребывания в условиях динамического светодиодного освещения практически не изменялось, однако у всех участников эксперимента было обнаружено W-образное раздвоение пика P100 в ЗВКП (зрительные вызванные корковые потенциалы) в ответ на стимулы с разными угловыми размерами. В условиях воздействия синего света на ганглиозные клетки процесс взаимодействия их деградирующих митохондрий и астроцитов является очень важным. При светодиодном освещении происходит поражение митохондрий ганглиозных клеток. Митохондрии направляются для утилизации в область головки зрительного нерва, где они поглощаются астроцитами и ликвидируются их лизосомой. Если скорость притока деградирующих митохондрий превысит скорость их утилизации, то в волокнах головки зрительного нерва возникнут механические напряжения из-за эффекта «митохондриальной пробки», что может привести к длительным нарушениям в головке зрительного нерва и развитию глаукомы.

Сформулированы рекомендации ГОСТ 23274-84 «Здания мобильные (инвентарные). Электроустановки. Общие технические условия» по применению в них полупроводниковых источников белого света с биологически адекватным спектром излучения.

Ключевые слова: мобильные здания, светодиодное освещение, синий свет, зрительный нерв, митохондрия, астроцит, глаукома, биологически адекватный спектр излучения.

Арктика – зона естественного развития России. Освоение этих пространств нашей страной актуально и предполагает не только перспективы страны, но и решение текущих экономических задач. Большое значение придается Арктике как форпосту, защищающему наши северные рубежи. Уже сегодня на острове Земля Александры архипелага Земли Франца-Иосифа построена одна из баз министерства обороны «Арктический трилистник», а всего в Арктической зоне планируется построить шесть военных городков, 13 аэродромов, наземный авиационный полигон, 10 технических позиций для радиолокационных станций и пунктов наведения авиации. Предполагается, что на этих базах будет размещаться несколько тысяч военнослужащих, которые большую часть времени года будут находиться

в условиях полярной ночи или в помещениях при искусственном освещении, спектр которого не адекватен спектру солнечного света.

Известно, что недостаточное качество освещения может привести к дрейфу циркадной фазы, особенно в сочетании с нарушением сна ночью. Более низкие уровни света в течение дня также могут вызывать сонливость. Наш организм требует как периодов яркости, так и темноты в течение дня для поддержания оптимального суточного ритма, дисгармонизация которого может привести как к физиологическим изменениям, так и к нарушениям здоровья и, как следствие, к снижению работоспособности и интеллектуальной деятельности.

Утверждают, что таланты древнегреческого философа Диогена развивались благодаря жизни в боч-

© Капцов В.А., Дейнего В.Н., 2020

Капцов Валерий Александрович – доктор медицинских наук, член-корреспондент РАН, заведующий отделом гигиены труда (e-mail: kapcovva39@mail.ru; тел.: 8 (499) 153-36-28; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3130-2592>).

Дейнего Виталий Николаевич – старший научный сотрудник (e-mail: vn-led@bk.ru; тел.: 8 (916) 530-68-82).

ке. Десятки тысяч работающих на «северах» людей удобно и тепло жили, живут и будут жить в металлических бочках – цельнометаллическом цилиндрическом унифицированном блоке (ЦУБ), или в «цубиках», и лишь иногда «чувствуя себя Диогенами»... [1].

Животворящий свет превращает бочку в жилье человека и благоприятно влияет на его здоровье и творческую работоспособность.

Идея жить в освещенных цилиндрических домах оказалась живучей и практичной. Ей покорились просторы севера, космоса и морские глубины. Цилиндрическая форма обеспечивает высокую надежность при транспортировке по бездорожью и минимальные металлоемкость, трудоемкость изготовления и стоимость.

Широкое распространение получил дом-бочка ЦУБ-2М – жилой модуль со всеми необходимыми коммунальными удобствами, рассчитанный на проживание четырех человек при формировании вахтовых поселков на севере и иных отдаленных местностях СССР. В армии ЦУБ используются в качестве жилищ и укрытий при размещении войск вне населенных пунктов. Цельнометаллические унифицированные блоки полной заводской готовности для военных обладают преимуществом немедленной готовности к заселению, так как имеют внутри необходимое встроенное оборудование – откидные полки для сна, столы, санитарно-технические устройства.

Все перечисленные особенности позволяли создавать максимальный комфорт проживания в блоках ЦУБ-2М в трассовых условиях севера, когда основным источником света были лампы накаливания.

На рис. 1 приведена современная планировка мобильного здания для проживания восьми человек – модель «САВА А8», 8,0×2,4, или «САВА А8», 8,0×2,8 [2].

В разное время для освещения блоков ЦУБ применялись источники света от ламп накаливания до люминесцентных и энергосберегающих ламп, на смену которым пришло светодиодное освещение. Для этого обратимся к ГОСТ 23274-84¹, авторы которого предусмотрели применение светодиодного освещения. В подпункте 3.4.4 данного документа указано: «Для электрического освещения помещений зданий следует, как правило, применять осветительные приборы с люминесцентными и светодиодными источниками света. Допускается применение ламп накаливания в случаях невозможности применения указанных выше типов источников света». При этом возникает вопрос правомочности использования ярких



Рис. 1. Вариант планировки ЦУБ на восемь человек с двухъярусными койками и при энергосберегающем освещении

светодиодных источников света в низкопотолочных помещениях по ГОСТ 22853-86², в соответствии с которым размеры контейнерных зданий должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 1.

Для низкопотолочных мобильных зданий (высота 2200 мм) очень важно оценить фотобиологическую безопасность люминесцентных ламп и LED Tubes на соответствие стандарта IEC 62471:2013³. При высоте помещения 2200 мм светильники находятся на близком расстоянии от глаз человека. При этом для оценки фотобезопасности очень важна зависимость показателя приведенной яркости светильника от расстояния до глаз. Такие зависимости были получены для расстояния 200 мм и далее до 1000 мм в работах F. Leccese и др. [3], а результаты представлены на рис. 2, 3.

На рис. 4 приведена зависимость взвешенной яркости L_v синего света от расстояния от источника света до глаз.

При росте человека 180–190 см и высоте потолка 210–220 см (2100–2200 мм) минимально допустимое с точки зрения фотобиологической безопасности расстояние до светодиодной лампы должно быть не менее 50 см. Данные размеры ЦУБ соизмеримы с жилыми отсеками космических станций и корабельных кают. В статьях Л.В. Базылевой и др. [5], В.Н. Болехана и др. [6] указывается, что разработка оптимальных режимов освещения и научное обоснование возможности их продолжительного применения в замкнутых объектах представляет собой важную практическую задачу не только для космической отрасли, но и для других сфер человеческой деятельности.

¹ ГОСТ 23274-84 Здания мобильные (инвентарные). Электроустановки. Общие технические условия [Электронный ресурс] // База ГОСТов. – URL: https://allgosts.ru/91/140/gost_23274-84 (дата обращения: 12.04.2019).

² ГОСТ 22853-86. Здания мобильные (инвентарные). Общие технические условия [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-22853-86> (дата обращения: 12.04.2019).

³ ГОСТ IEC 62471-2013. Фотобиологическая безопасность ламп и ламповых систем [Электронный ресурс] // Normaks. Система нормативов. – URL: <http://www.normacs.ru/Doclist/doc/12080.html> (дата обращения: 12.04.2019).

Наименование здания	Ширина, мм	Длина, мм				Высота помещений*, мм
		3000	6000	9000	12000	
Буксируемые** с несъемной ходовой частью	2500	+	+	+	-	Не менее 2200 То же 2400
Перевозимые*** и буксируемые со съемной ходовой частью	3000	-	+	+	+	
	3000	+	+	+	+	

Примечания:

* – высота помещения блок-контейнера – расстояние от чистого пола до потолка. В случае непрямолинейного очертания потолка высота помещения блок-контейнера принимается по среднему между наибольшим и наименьшим значениями;

** – буксируемые здания – здания, имеющие собственную съемную или несъемную ходовую часть;

*** – перевозимые здания – здания, не имеющие собственной ходовой части (блок-контейнеры).

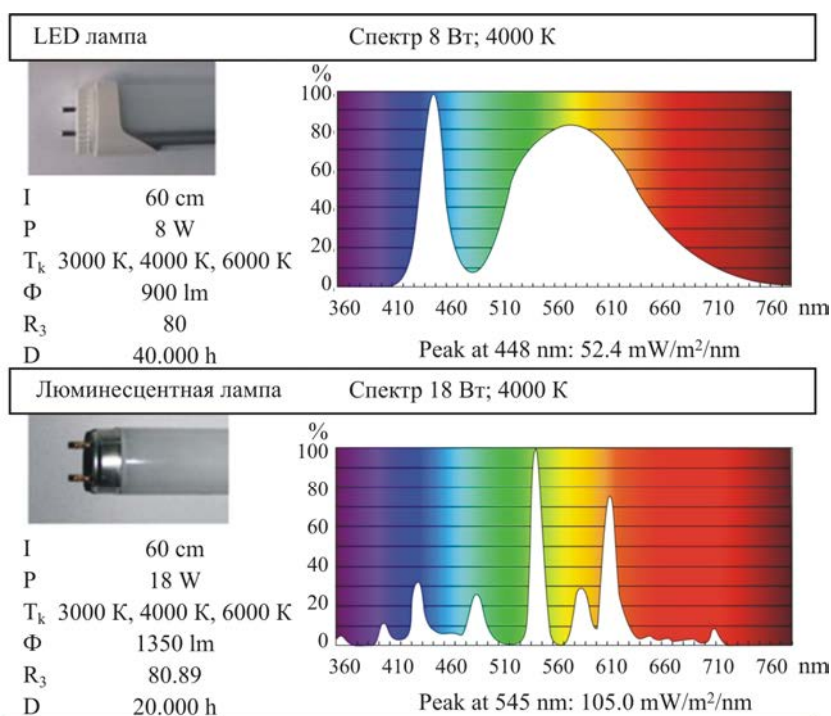


Рис. 2. Общие характеристики светодиодной лампы Led Tube и люминесцентной лампы

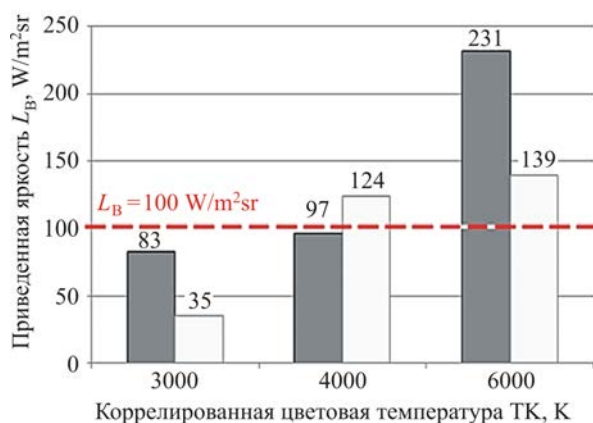


Рис. 3. Сравнение приведенной яркости L_B в диапазоне синего света между светодиодными (темно-серый) и люминесцентными лампами (светло-серый) с различными цветовыми температурами на расстоянии 0,20 м

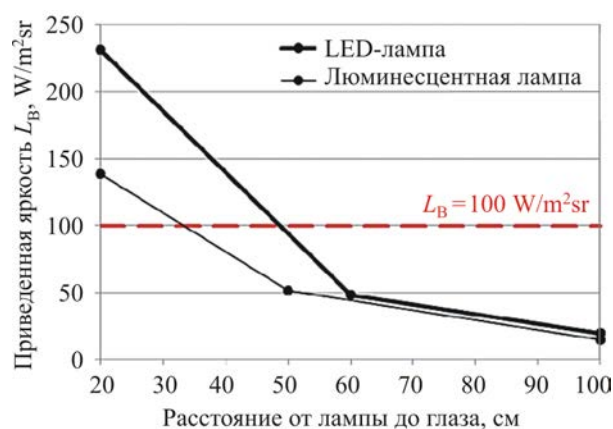


Рис. 4. Зависимость приведенной яркости L_B светодиодных трубок и люминесцентных ламп с цветовой температурой 6000 К в зависимости от расстояния [4]

Сегодня хорошо известно, что одним из важнейших факторов обитаемости, способным привести к развитию различных патологических состояний, сопровождающихся снижением работоспособности, является неадекватное освещение⁴.

Поскольку в спектре излучения современных белых светодиодов преобладает синий компонент (440–460 нм), имеющий наибольшую фотохимическую активность в отношении ретинального пигментного эпителия, многие исследователи указывают на высокую потенциальную опасность светодиодов [7]. Подавляющее большинство литературных данных, указывающих на потенциальную фотохимическую опасность светодиодного освещения, опираются на результаты опытов с животными.

Так, исследования, выполненные на японских перепелах (*Coturnix japonica*), показали, что под действием света синих светодиодов происходят изменения в сосудистой оболочке глаза, а также фотоиндуцированные изменения субклеточных структур ретинального пигментного эпителия. В данных исследованиях также было показано, что умеренное синее светодиодное освещение (440–460 нм) вызывает у молодых животных 1,5-кратную перегрузку метаболизма сетчатки (по сравнению с лампами накаливания), приводящую к ее ускоренному старению и снижению функциональной активности структур гематоретинального барьера [8].

Результаты данных исследований подтверждают гипотезу о том, что сине-голубая часть спектра обладает более выраженной способностью вызывать фотохимическое повреждение сетчатки, чем желто-зеленая и красная части.

Однако ряд зарубежных и отечественных экспертов [8] считают, что результаты экспериментов на животных не могут быть напрямую экстраполированы на человека из-за выраженных морфофункциональных различий их зрительного анализатора и человеческого, а также из-за несоответствия лабораторных условий естественной световой среде обитания людей.

Эксперименты с участием человека немногочисленны и в основном связаны с исследованиями уровней мелатонина в ночное время. Первыми вопрос о сертификации светодиодных светильников по медицинским нормам подняло руководство Центрального научно-исследовательского института Министерства обороны Российской Федерации (ЦНИИ МО РФ). Но провести такую работу в 2007 г. за средства Министерства обороны РФ не удалось. В 2008 г. военное ведомство США инициировало

работу по теме «Спектрально динамический свет для активного управления суточным циклом» (SB082-055 «A Spectrally Dynamic Berth Light for Active Circadian Cycle Management») [9]. Стоимость работы составила 98 990 долларов. Эти исследования четко показали, что под воздействием синей части спектра света на короткий срок значительно менялась работоспособность личного состава объекта ВМФ [10, 11].

Для ВМФ США светодиодные светильники разрабатывала фирма Energy Focus, которая получила контракт на 1600 000 000 долларов. Roger Buelow – ведущий специалист этой фирмы отмечал: «Повторное исследование DARPA выявило развитие суточного ритма под влиянием улучшения освещения для военно-морского флота. Эти источники света регулируют их спектр в течение дня для улучшения сна и производительности. В армии это особенно важно для бойцов, чьи обязанности включают 24-часовую оперативную готовность» [12].

Одной из последних работ, посвященных влиянию светодиодов на психическую работоспособность оператора, которая привлекла наш интерес, стала диссертация А.Е. Смолеевского⁴.

Исследования выполнялись на базе ГНЦ РФ Институт медико-биологических проблем РАН в период 2014–2015 гг. и являлись частью многолетней комплексной программы экспериментальных исследований «Гермокамерные испытания светодиодных светильников для космических летательных аппаратов с оценкой психофизиологических эффектов их использования». Исследование выполнялось на выборках, состоящих из здоровых добровольцев мужчин, и проводилось в два этапа – при постоянном и динамическом освещении в течение 12 суток.

Фоновые значения показателей психической работоспособности и психоэмоционального состояния оценивались в условиях люминесцентного освещения с цветностью 4000 К («нейтрально-белый» свет). Лампы располагались в камере ограниченного объема таким образом, чтобы создаваемые ими уровни освещенности соответствовали требованиям⁵ и были сопоставимы по значению с уровнями освещенности 200 люкс, создаваемыми экспериментальными светодиодными светильниками. Оценка «эффектов последствия» светодиодного света также производилась в условиях люминесцентного освещения.

На первом этапе оценивались психофизиологические эффекты постоянного светодиодного освещения, создаваемого бортовыми светильниками ССД301, ССД305 и ССД307. Светильники ССД301

⁴ Смолеевский А.Е. Психическая работоспособность оператора в условиях светодиодного освещения с различными спектрально-энергетическими характеристиками: дис. ... канд. мед. наук. – М.: ГНЦ РФ-ИМБП, 2018. – 133 с.

⁵ ГОСТ Р 50804-95. Среда обитания космонавта в пилотируемом космическом аппарате. Общие медико-технические требования [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-50804-95> (дата обращения: 12.04.2019).

были установлены в туалетах и переходном отсеке, светильники ССД305 и ССД307 – в жилом и лечебном отсеках. Коррелированная цветовая температура (КЦТ) системы освещения составляла 4000 К, а уровень освещенности 200 люкс. Поскольку спектрально-энергетические характеристики светильников ССД311 во время работы изменялись в широком диапазоне, психическая работоспособность операторов оценивалась при двух значениях КЦТ: 4000–5000 К и 8000 ± 800 К⁴.

К сожалению, в работе не были приведены спектрально-энергетические характеристики светодиодных светильников ССД301, ССД305, ССД307 и ССД311, а представлены только типы светодиодов, примененных в светильниках, фирм CREE и Seoul Semiconductor. Для гигиенической оценки спектральной характеристики примененных светильников мы приводим спектры на светодиоды фирмы CREE (рис. 5).

Можно предположить, что спектры примененных светодиодных светильников мало отличались от таковых вышеуказанных фирм, если разработчик указанных светильников ЗАО НПЦ НИИ микроприборов не применял специальных мер корректировки спектров светодиодов.

Из представленного на рис. 5 спектра светодиодов фирмы CREE видно следующее:

- спектр имеет повышенную дозу синего света по сравнению с гигиенически безопасным солнечным светом при том же уровне освещенности;

- в спектре максимум приходится на дозу синего света 450 нм – воздействие на сетчатку (на синапсы дендритного поля ганглиозных клеток зрительно-ганглиозного канала сетчатки);

- уровень синего света, воздействующий на ганглиозные клетки глаза, находится на уровне 60 % от максимального значения синего 450 нм – не очень выраженное воздействие на гормональную систему (уровня мелатонина, кортизола) и комфортность сна;

- исходя из физиологии глаза, первыми воспринимают синий свет ганглиозные клетки и их дендритное поле. Избыточная доза синего света влияет на работоспособность ганглиозных клеток, которые воспринимают сигналы других фоточувствительных клеток сетчатки, реагирующих на световые стимулы;

- в спектре есть четкий провал 480 нм. Фотонный поток голубого света 480 нм отвечает за управление диаметром зрачка глаза и его удержание в закрытом состоянии. Расширенный зрачок при светодиодном свете не ограничивает световой поток с избыточной дозой синего света.

В статье [13] выявлено, что для светодиодов, спектр которых приведен на рис. 5, была установлена зависимость диаметра зрачка от яркости (рис. 6).

При общей освещенности 200 люкс уровень яркости от белого листа бумаги будет менее чем 100 cd/m^2 . Это значит, что диаметр зрачка глаза будет расширен более 3,5 мм. При таких уровнях

освещенности и спектрах излучения можно предположить наличие повышенного риска «эффектов последствия» при работе аккомодационного аппарата, а также наличие стохастических эффектов при работе клеток сетчатки и психических изменений в состоянии человека, вызванных повышенной дозой синего света (от 4500 до 8000 ± 800 К).

В табл. 2 представлена обобщенная информация о психическом состоянии операторов в условиях светодиодного освещения при различных режимах работы освещения. Работа проводилась по методике «Профиль настроения» – российский аналог вопросника Profile of mood states, широко применяемого в изоляционных и космических экспериментах.

Приведенные данные наглядно показывают, что светодиодное освещение значительно влияет на психическое состояние некоторых операторов, что может вызвать негативные последствия в малых коллективах в замкнутых пространствах. Понимание этого вывода очень важно для сохранения доброжелательной атмосферы среди лиц, выполняющих ответственные задания в тяжелых условиях Севера или гермообъектов.

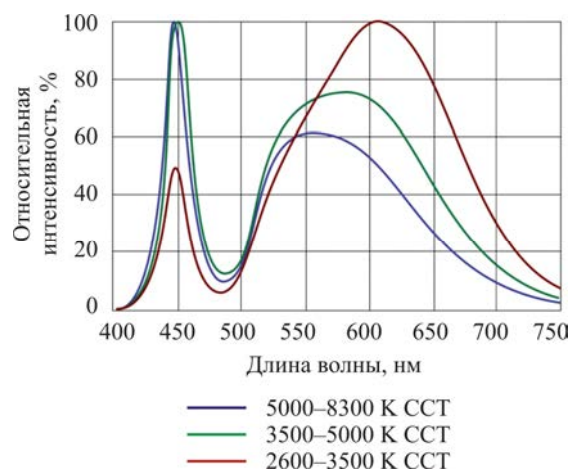


Рис. 5. Спектры светодиодов фирмы CREE

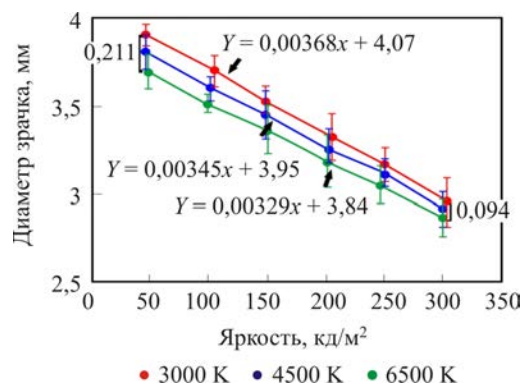


Рис. 6. Зависимость диаметра зрачка глаза от яркости [13]

Показатели психической работоспособности операторов при светодиодном освещении

Шкала показателей	Операторы, у которых изменились значения показателей, усл. ед., по сравнению с фоном (в условиях освещения люминесцентных ламп)	
	психическая работоспособность в условиях светодиодного освещения с постоянными спектрально-энергетическими характеристиками (постоянного светодиодного освещения – 4000 К)	профиль настроения человека-оператора в условиях светодиодного освещения с варьируемыми во времени спектрально-энергетическими характеристиками (динамического светодиодного освещения – 4000–5000 и 8000 ± 800 К)
«Гнев – враждебность»	У 2 повысилась на 3 усл. ед., у 3 снизилась на 2–4 усл. ед., у 5 осталась без изменений	У 5 возрос на 10–20 усл. ед. (в 2–3 раза), у 2 снизился на 2–3 усл. ед., у одного остался без изменений
«Депрессия – уныние»	У 2 снизилась на 1–3 усл. ед., у 2 повысилась на 1–3 усл. ед., у 6 осталась без изменений	У 2 снизился на 3–6 усл. ед., у 3 повысился на 1–3 усл. ед., у 3 остался без изменений
«Усталость – инертность»	У 4 повысилась на 2–9 усл. ед., у 4 снизилась на 1–3 усл. ед., у 2 осталась без изменений	У 3 повысился на 2–9 усл. ед., у 3 снизился на 2–4 усл. ед., у 2 остался без изменений
«Бодрость – активность»	У 6 снизилась на 2–8 усл. ед., у 3 повысилась на 1–6 усл. ед., у одного осталась без изменений	У 3 снизился на 2–8 усл. ед., у 2 повысился на 2–5 усл. ед., у 3 остался без изменения
«Напряженность – беспокойство»	У 4 увеличилась на 1–4 усл. ед., у 4 снизилась на 1–7 усл. ед., у 2 осталась без изменения	У 4 увеличился на 5–12 усл. ед., у 2 снизился на 1–3 усл. ед., у 2 остался без изменения
«Растерянность – замешательство»	У одного повысилась на 3 усл. ед., у 5 снизилась на 1–2 усл. ед., у 4 осталась без изменения	У 4 возрос на 1–10 усл. ед., у 3 снизился на 1–2 усл. ед., у одного остался без изменения
Интегральный показатель настроения – «Общее изменение настроения»	У 5 выросла на 5–25 %, у 4 снизилась на 15–20 %, у одного осталась без изменений	У 5 вырос на 30–230 %, у 3 снизился на 5–30 %, операторов без изменений нет

По результатам проведенных исследований автором работы было отмечено снижение отдельных функциональных показателей:

– запаса относительной аккомодации (на 14,3 % по медиане);

– суммарной границы поля зрения на синий и зеленый цвета (на 6,3 и 9,1 % по медиане соответственно) без развития субъективной симптоматики. Однако у 25 % операторов после пребывания в светодиодной световой среде произошло уменьшение показателя критической частоты слияния мельканий (КЧСМ) (у оператора 3 – на четыре единицы (до 42/42 после 38/38), у оператора 6 – на три единицы (до 45/45 после 42/42)⁴.

Представляет интерес исследование паттерна ЭРГ (ПЭРГ), характеризующего функцию макулярной области (P50) и ганглиозных клеточек сетчатки (N95) [14]. Паттерн-электроретинограмма (ПЭРГ) является наиболее чувствительным тестом для определения функции ганглиозных клеток. При первичной глаукоме (ПОУГ) первично поражаются ганглиозные клетки [15]. В данной работе приведены значения показателей (P50) и (N95) у пациентов с начальной глаукомой. Исследование выпол-

нено на базе консультативной поликлиники ГАУЗ РКОБ МЗ РТ. В исследовании участвовали 21 пациент с ПОУГ. Обобщенные результаты первых измерений приведены в табл. 3.

Таблица 3

Показатели ПЭРГ у пациентов с начальной глаукомой

Параметры ПЭРГ	До лечения пациента
Латентность P (50), мс	74 ± 3,3
Латентность № 95, мс	118 ± 4,2

Форма отклика сигнала ПЭРГ была стандартизована ISCTV (International Society for Clinical Electrophysiology of Vision)⁶. Стандартный вид отклика приведен на рис. 7, на котором изображены уровни P (50) и № 95 для начальной стадии глаукомы.

В работе В.В. Егорова и др. [18] приведены нормальные отклики ПЭРГ (рис. 8).

Данная форма отклика содержит два основных компонента: положительный примерно в 50–55 мс (P50) и отрицательный примерно в 85–90 мс (№ 95).

В нашем случае наиболее информативным является параметр латентности. Обращает на себя

⁶ Standards, Guidelines and Extended Protocols [Электронный ресурс] // International Society for Clinical Electrophysiology of Vision. – URL: <https://iscev.wildapricot.org/standards/> (дата обращения: 12.04.2019).

внимание, что запас по латентности стандартного ПЭРГ показателя № 95 очень маленький и равен 23 мс, что соизмеримо для показателя P (50) – 24 мс. Эти запасы могут быть израсходованы за годы жизни пациентов.

В табл. 4 приведены обобщенные результаты исследования ПЭРГ.

Из представленных данных видно, что при светодиодном освещении с цветовой температурой более 4000 К, но менее 8800 К, по показателю № 95 время латентности увеличивалось от 2 до 19–28 мс. Этот «эффект последствия» сохранился при измерениях, которые проводили специалисты отдела клинической физиологии зрения им. С.В. Кравкова ФГБУ «Московского НИИ глазных болезней им. Гельмгольца» Минздрава России.

Излучение биологического действия света на человека остается актуальной проблемой гигиены освещения. Экспериментально на клеточном, биологическом и психофизиологическом уровнях доказана биологическая **неадекватность** естественного и

искусственного света равной интенсивности, которая сохраняется и при повышении уровня освещенности от искусственных источников света [19].

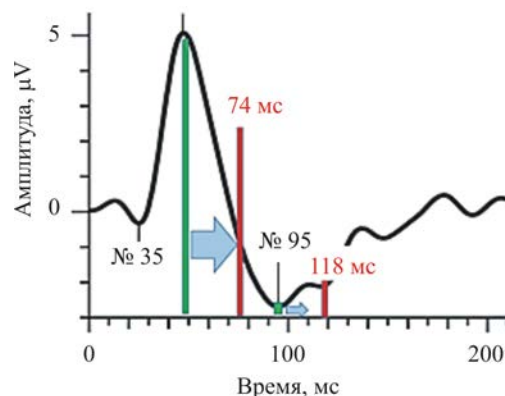


Рис. 7. Стандартная форма отклика с нанесенными значениями P (50) и № 95, характерными для начальной формы глаукомы [16, 17]

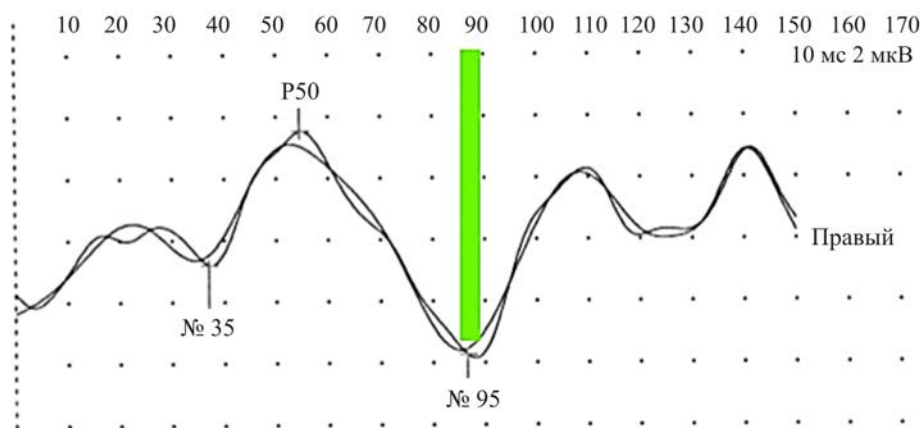


Рис. 8. Паттерн ЭРГ в норме [18]

Таблица 4

Обобщенные результаты исследования ПЭРГ

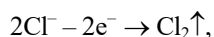
Оператор	Глаз	Порядок воздействия	Размер ячеек 0,8°		Размер ячеек 0,3°	
			P50 T (мс)	№ 95 T (мс)	P50 T (мс)	№ 95 T (мс)
1	Правый	До	48,3	81,7	55,7	98,3
		После	53,9	101,4	55,7	105,7
	Левый	До	52,8	96,5	50,4	95,5
		После	52,1	108,1	55,3	105,3
2	Правый	До	50,4	88,4	50	92,3
		После	50,4	108,1	58,1	111,8
	Левый	До	51,1	87,7	54,6	92,6
		После	50,7	108,1	56	98,3
3	Правый	До	53,9	108,5	54,2	97,9
		После	57,1	98,3	50	89,5
	Левый	До	52,5	89,8	54,6	96,9
		После	55,3	117,3	60	98,3
4	Правый	До	53,2	92,6	53,5	96,9
		После	52,5	108,8	53,9	98,3
	Левый	До	49,3	92,6	53,5	97,6
		После	52,1	104,6	51,4	87,7

Это говорит о том, что следует провести более глубокие исследования по изучению устойчивой работы водородной, натриевой и хлорной АТ-фазы в схеме натрий-кальциевого, хлорного транспорта в клетках (их дендритах и митохондриях) [20] в условиях воздействия избыточной дозы синего света 450 нм.

Изменение концентрации ионов приводит к изменению потоков воды через мембрану клетки и изменению ее рН [21]. На перенос указанных ионов значительно влияет свет, воздействующий на белки соответствующих рецепторов. В работах R.J. Sizemore и др. [22], В. Шевченко [23] говорится, что классическими оптогенетическими инструментами являются белки галородопсин, археародопсин и каналный родопсин (рис. 9). Галородопсин и археародопсин используются для деактивации нейронов, они блокируют передачу нервного импульса. Под действием света галородопсин переносит отрицательно заряженные ионы хлора внутрь клетки, тем самым вызывая гиперполяризацию нейрона. Археародопсин выкачивает протоны (положительные заряды) из клетки, что, естественно, также гиперполяризует нейрон. И галородопсин, и археародопсин – это так называемые насосы, помпы. Если вокруг есть нужный им ион (а он есть почти всегда), то, поглотив квант света, эти белки активно перенесут ион с одной стороны мембраны на другую.

Синий свет с длиной волны 470 нм стимулирует белок ChR2 для переноса ионов Na^+ и Ca^{2+} . При этом необходимо отметить, что хлор поглощает свет в области длины волн 250–450 нм [24]. Ионы хлора совместно с гамма-аминомасляной кислотой (ГАМК) выступают тормозящим агентом проводимости нейронов. Глутаминовая кислота (Glu) – главный возбуждающий медиатор (около 40 % всех нейронов). Гамма-аминомасляная кислота (ГАМК) (в латинской транскрипции Gamma-Amino Butyric acid (GABA)) – главный тормозной медиатор (также около 40 % всех нейронов). Нарушение этого баланса (как правило, в сторону уменьшения торможения) негативно влияет на многие нервные процессы. Нормальная деятельность ЦНС обеспечивается тонким балансом Glu и ГАМК, которые являются нейромедиаторами в сетчатке глаза (рис. 10).

При поглощении ионами хлора избыточной дозы синего света следует понижение концентрации ионов хлора



и, как следствие, происходит понижение эффективности торможения – возбуждения, процессы отклика на возбуждающий стимул затягиваются.

На мембранах нейронов и астроцитов функционируют ионные обменники, в физиологических условиях поддерживающие необходимый градиент концентраций химических веществ между внутри

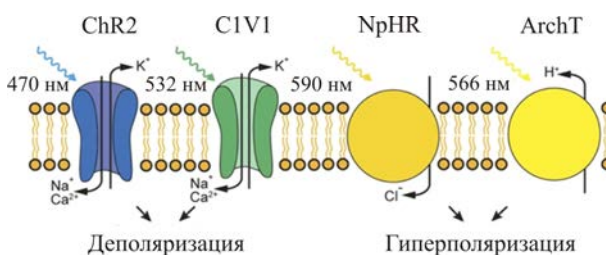


Рис. 9. Принципы работы классических оптогенетических инструментов: каналного родопсина, галородопсина и протонного насоса (археародопсина)

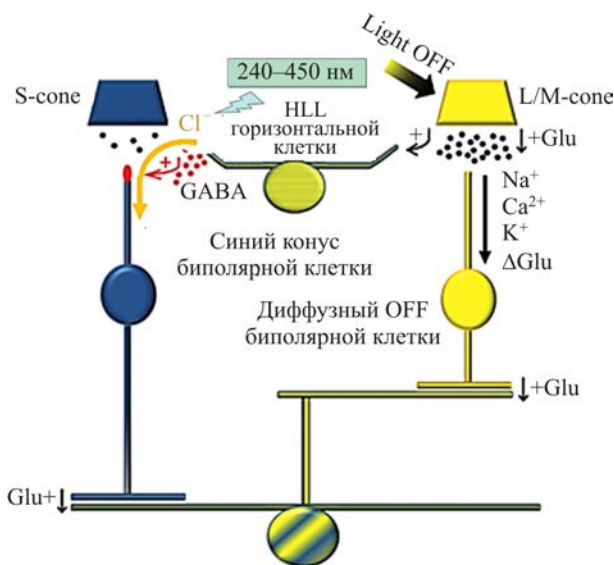


Рис. 10. Общая схема размещения синапсов между нейронами сетчатки [25], на которой нанесена схема переноса GABA и ионов хлора, а также Glu и ионов Na, Ca и K

клеточным и межклеточным пространством (ионы калия K^+ и глутамата Glu – накапливаются внутри клетки, а ионы кальция Ca^{2+} , хлора Cl^- и натрия Na^+ – снаружи) [26, 27].

Количество астроцитов в 20 раз превышает количество нейронов. Астроциты участвуют в гормон-индуцированных перестройках синапсов, выполняющих эндокринные функции [28].

Ученые Школы медицины Калифорнийского университета в Сан-Диего (University of California, San Diego School of Medicine), Школы медицины Университета Джонса Хопкинса (Johns Hopkins University School of Medicine) и Института Кеннеди Кригера (Kennedy Krieger Institute) продемонстрировали, что некоторые нейроны передают функцию утилизации ненужных им митохондрий – крошечных внутриклеточных энергетических станций – клеткам глии, известным как **астроциты**. Ученые сосредоточили свое внимание на аксонах ганглионарных клеток сетчатки – нейронов, передающих визуальную информацию от глаза к головному мозгу [29].

Внутринейрональный ионный состав является важным фактором, определяющим функционирование мозга. Существует доказательство того, что аномальный гомеостаз клеточной концентрации Cl^- ($[Cl^-]_i$) вызывает совместно с Na^+ и Ca^{2+} нарушение возбудимости нейронов и нервной передачи и тем самым способствует развитию неврологических состояний [30–33].

Все нейродегенеративные заболевания объединяет несколько признаков: тенденция к прогрессированию с медленной потерей функций; селективная потеря определенных популяций нейронов в результате апоптоза; транссинаптическая дегенерация (первичная, вторичная); общие механизмы клеточной смерти – оксидативный стресс и *глутаматная токсичность*⁷. Накопление «мусора» внутри клеток может быть причиной развития нейродегенеративных процессов [29]. Клетки сетчатки глаз имеют поле дендритов, и можно предположить, что патология синапсов дендритов является одним из самых ранних признаков глаукомы. При этом ганглиозные клетки сетчатки с измененными дендритами показывают ослабленный ответ на зрительные стимулы, что подтверждает прямую связь дегенерации дендритов и зрительной дисфункции, а синапсы являются наиболее уязвимым местом при дегенеративном процессе, приводящем к гибели клеток⁷.

В отличие от электроэнцефалограммы, отражающей активность коры головного мозга, зрительные вызванные корковые потенциалы (ЗВКП) представляют собой суммарный ответ больших популяций нейронов коры на проходящий к ним синхронный поток импульсов, возникающий под воздействием афферентного раздражителя. Разность потенциалов, возникающая между вне- и внутриклеточной средой, регистрируемая на мембране нейрона, обусловлена разностью концентрации ионов Na^+ , K^+ и Cl^- в экстраклеточной среде и в протоплазме нейрона.

Автор работы⁸ отмечал, что амплитуды ЗВКП (зрительные вызванные корковые потенциалы) после пребывания операторов в условиях динамического светодиодного освещения практически не изменялись, однако у всех участников эксперимента было обнаружено W-образное раздвоение пика P100 в ответ на стимулы с разными угловыми размерами. В литературных источниках подобные изменения морфологии ЗВКП у здоровых лиц, находившихся в условиях гермообъекта или подвергшихся воздействию динамического светодиодного освещения, не описаны, что затрудняет их оценку. Вероятно, данный результат можно рассматривать как свидетельство пограничного влияния динамического светодиодного освещения на функциональное состояние зрительного анализатора. Детальное изучение дан-

ного феномена и выяснение его связи с функциональной активностью сетчатки и головного мозга потребует более продолжительного исследования с участием большего количества волонтеров.

Митохондрии являются органеллами, которые выполняют многие важные функции, в том числе предоставление энергии клеткам. Клетки удаляют поврежденные митохондрии через процесс, называемый митофагией. Митофагия считается подмножеством процесса, называемого аутофагией, с помощью которого поврежденные органеллы доставляются в лизосомы для деградации. Тем не менее показано, что в месте, называемом головкой зрительного нерва, большое количество митохондрией выходит из нейронов, чтобы быть деградированными лизосомами прилегающих глиальных клеток. Этот вывод ставит под сомнение предположение о том, что клетка обязательно деградирует свои собственные органеллы.

Важнейшей функцией астроцитов является ликвидация деградирующих митохондрий ганглиозных клеток для поддержания их жизнеспособности и надежного устойчивого функционирования в условиях световой нагрузки глаза. Подробно механизм поглощения митохондрий ганглиозных клеток рассмотрен в работах T.C. Burdett et al. [34], N.N. Osborne et al. [35], S. LaFee [36]. Этот процесс взаимодействия митохондрий и астроцитов принципиально важен в условиях воздействия на ганглиозные клетки синего света.

Проведенные автором исследования показали, что применение светодиодного освещения на базе светодиодной технологии «синий кристалл, покрытый желтым люминофором» сопряжено с большим риском нарушения работы зрительного анализатора в перспективе. В частности, он указывает: «Если планировка и габариты гермообъекта предполагают продолжительное совместное пребывание нескольких членов экипажа в одном помещении, то желательно обеспечить экипаж *очками со спектральными линзами*. Такие очки позволят не только облегчить адаптацию членов экипажа к спектрально-энергетическим характеристикам системы освещения, но и снижают зрительное утомление оператора при работе со средствами отображения информации». Также автор отмечает: «При использовании режима светодиодного освещения с дополнительным присутствием синей составляющей в спектре излучения светильника следует соблюдать осторожность. Длительное регулярное использование такого режима освещения может привести к морфофункциональным изменениям зрительного анализатора (повреждение хрусталика и сетчатки глаза), изменениям настроения (повышенная возбудимость, раздражительность, гнев, враждебность), развитию ин-

⁷ Панюшкина Л.А. Клинико-морфологические особенности зрительного пути при глаукоме и при болезни Альцгеймера: дис. ... канд. мед. наук. – М., 2015. – С. 106.

⁸ Смолеевский А.Е. Указ. соч.

сомний (затруднение засыпания, нарушение структуры и качества сна)»⁹.

Это заключение особенно важно, поскольку персонал северных мобильных городков и военнослужащие надводных и подводных кораблей будут находиться в этих условиях гораздо больше 12 суток проведения эксперимента.

Обращает на себя внимание, что автор использовал зарубежные источники света, которые, по нашему мнению, будут недоступны для оборудования северных военных городков в случае усиления напряженности между нашими странами. Хотя в России специалистами ВНИИЖГ Роспотребнадзора и ЗАО «ЭЛТАН» в инициативном порядке были разработаны теоретические основы концепции «светодиодных источников света с биологически адекватным спектром» (рис. 11) [37].

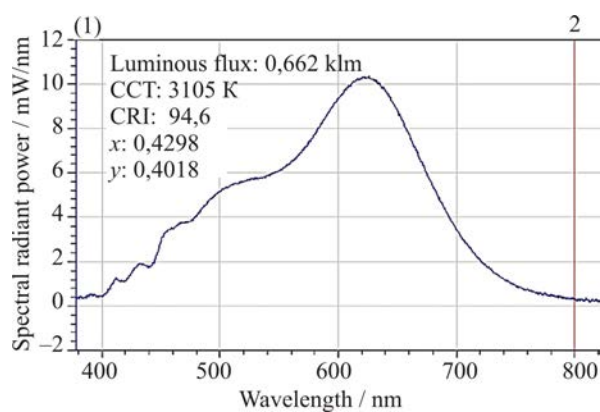


Рис. 11. Спектр света доработанной ретрофитной лампы ЗАО «ЭЛТАН»

Разработанная технология запатентована, что обеспечивает приоритет России в области создания энергоэффективных светодиодных источников белого света с биологически адекватным спектром излучения. Для уменьшения эффекта влияния низкоинтенсивного «синюшного» светодиодного света необходимо, чтобы спектр белого света светодиодного источника излучения приближался к таковому лампы накаливания, а еще лучше – к спектру солнечного света с гигиенически безопасной цветовой температурой 3000 К.

Этот спектр белого света не имеет недостатков, присущих стандартному белому светодиоду (синий кристалл, покрытый желтым люминофором) – наличия значительной дозы синего света и провала в области 480 нм при незначительной

дозе красного света. Данный спектр является непрерывным и по составу соответствует спектру солнечного света при безопасной цветовой температуре 3000 К.

Мы считаем, что применение полупроводниковых источников белого света с биологически адекватным спектром излучения обеспечит:

- уменьшение негативного влияния света на зрительный анализатор и гормональную систему человека;

- условия для дополнительной экономии электроэнергии за счет снижения уровня освещенности на рабочих местах при заданной производительности труда почти в два раза;

- стабильность светового потока и заданные показатели надежности для системы освещения.

Выводы:

1. В России разработана оригинальная технология, позволяющая создавать светодиодные лампы белого света с биологически адекватным спектром света. Мировой приоритет этой технологии защищен патентами.

2. Можно рекомендовать авторам ГОСТ 23274-84 «Здания мобильные (инвентарные). Электроустановки. Общие технические условия» в подпункте 3.4.4 данного документа указать: «Для электрического освещения помещений мобильных зданий следует, как правило, применять осветительные приборы с люминесцентными лампами и светодиодными источниками белого света с биологически адекватным спектром излучения».

3. Выбор между светодиодным освещением с постоянными спектрально-энергетическими характеристиками и динамическим освещением зависит от конкретных условий и решаемых задач: оптимизация баланса процессов возбуждения и торможения в ЦНС или более выраженное активирующее действие на большинство показателей психоэмоционального состояния.

4. Необходимо расширить исследования новых источников освещения применительно к задачам медицины труда, военной и коммунальной гигиены, общей и профессиональной патологии в интересах сохранения здоровья населения и укрепления обороноспособности нашей страны.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Скупов Б. Цилиндрический унифицированный блок. Мобильный дом для жизни в экстремальных условиях [Электронный ресурс] // Строительный эксперт. Портал для специалистов архитектурно-строительной области. – URL: <https://ardexpert.ru/article/6227> (дата обращения: 12.04.2019).
2. Жилые вагон-дома. Для обеспечения комфортных условий проживания и работы на Крайнем Севере [Электронный ресурс] // САВА сервис. Завод мобильных зданий. – URL: <https://www.savaservis.ru/catalog/vagon-doma/zhilye/> (дата обращения: 12.04.2019).

⁹ Смолеевский А.Е. Указ. соч.

3. Blue Light Hazard and Risk Group Classification of 8 W LED Tubes, Replacing Fluorescent Tubes, through Optical Radiation Measurements / F. Leccese, V. Vandelanotte, G. Salvadori, M. Rocca // *Sustainability*. – 2015. – Vol. 7, № 10. – P. 13454–13468. DOI: 10.3390/su71013454
4. Optical Radiation Measurements and Risk Group Determination of 8W LED Tubes for General Lighting / V. Vandelanotte, F. Leccese, T. Corucci, M. Rocca // *CIRIAF National Congress Environmental Footprint and Sustainable Development Perugia*. – Italy, 2015. – P. 1–11.
5. Базылева Л.В., Болахан В.Н., Ганапольский В.П. Светодиоды в качестве основного освещения: проблемы и пути решения // *Материалы 3-го Азиатско-Тихоокеанского конгресса по военной медицине: сб. тез. конф.* – СПб., 2016. – С. 7–8.
6. Комплексное исследование влияния светодиодных источников света на функциональное состояние организма человека / В.Н. Болахан, В.П. Ганапольский, Н.А. Шукина, Л.В. Базылева // *Медицина и здравоохранение: материалы V Междунар. науч. конф.* – Казань: Бук, 2017. – С. 85–88.
7. Зак П.П., Островский М.А. Потенциальная опасность освещения светодиодами для функциональной активности структур гематоретинального барьера глаз детей и подростков // *Светотехника*. – 2012. – № 3. – С. 4–6.
8. Психофизиологические эффекты светодиодного освещения в условиях гермообъекта / А.Е. Смолевский, О.М. Манько, Ю.А. Бубеев, Т.А. Смирнова // *Известия Российской военно-медицинской академии*. – 2018. – Т. 37, № 2. – С. 124–127.
9. SB082-055 A Spectrally Dynamic Berth Light for Active Circadian Cycle Management [Электронный ресурс] // SBIR. STTR. America's seed fund. – 2010. – URL: <https://www.sbir.gov/sbirsearch/detail/166396> (дата обращения: 12.04.2019).
10. Профилактика глазных заболеваний у детей и подростков в учебных помещениях со светодиодными источниками света первого поколения / В.Н. Дейнего, В.А. Капцов, Л.И. Балашевич, О.В. Светлова, Ф.Н. Макаров, М.Г. Гусева, И.Н. Кошиц // *Российская детская офтальмология*. – 2016. – № 2. – С. 57–73.
11. SB082-055 A Spectrally Dynamic Berth Light for Active Circadian Cycle Management [Электронный ресурс] // SBIR. STTR. America's seed fund. – 2010. – URL: <https://www.sbir.gov/sbirsearch/detail/131805> (дата обращения: 12.04.2019).
12. Energy Focus, Inc. Receives \$ 1.6 Million to Develop LED Lighting for DARPA and NASA [Электронный ресурс] // *LIGHTimes Online – LED Industry News*. – URL: <http://www.solidstatelighting.net/energy-focus-inc-receives-1-6-million-to-develop-led-lighting-for-darpa-and-nasa/> (дата обращения: 12.04.2019).
13. Rao F., Chan A.H.S., Zhu X.-F. Effects of photopic and circadian illumination on steady state pupil size // *Vision Research*. – 2017. – Vol. 137. – P. 24–28. DOI: 10.1016/j.visres.2017.02.010
14. Исследование биоэлектрической активности и кровоснабжения сетчатки при глаукоме РМЖ / Н.И. Курышева, Т.Н. Киселева, Н.А. Ходак, Е.Ю. Иртегова // *РМЖ. Клиническая офтальмология*. – 2012. – Т. 13, № 3. – С. 91–94.
15. Электроретинографические показатели состояния сетчатки и зрительного нерва у пациентов ПОУГ, применяющих траватан / А.Н. Амиров, И.И. Зайнутдинов, О.Г. Зверева, А.Н. Коробицин // *Новости глаукомы*. – 2016. – Т. 37, № 1. – С. 83–84.
16. ISCEV standard for clinical pattern electroretinography (PERG): 2012 update / M. Bach, M.G. Brigell, M. Hawlina, G.E. Holder, M.A. Johnson, D.L. McCulloch, T. Meigen, S. Viswanathan // *Ophthalmol.* – 2013. – № 126. – P. 1–7. DOI: 10.1007/s10633-012-9353-y
17. Holder G.E. Pattern electroretinography (PERG) and an integrated approach to visual pathway diagnosis // *Prog. Retin. Eye Res.* – 2001. – Vol. 20, № 4. – P. 531–561. DOI: 10.1016/s1350-9462(00)00030-6
18. Физиотерапия в офтальмологии: монография для врачей-офтальмологов и физиотерапевтов / В.В. Егоров, Г.П. Смолякова, Т.В. Борисова, О.И. Гоуха. – Хабаровск: Ред.-изд. центр ИПКЗ, 2010. – 335 с.
19. Скобарева З.А., Текшева Л.М. Биологические аспекты гигиенической оценки естественного и искусственного освещения // *Светотехника*. – 2003. – № 4. – С. 7–13.
20. Зефилов А.Л., Мухамедьяров М.А. Электрические сигналы возбудимых клеток. – Казань: Казанский государственный медицинский университет, 2008. – 119 с.
21. Role of the neuronal K-Cl co-transporter KCC2 in inhibitory and excitatory neurotransmission / I. Chamma, Q. Chevy, J.C. Ponce, S. Lévi // *Front. Cell. Neurosci.* – Vol. 21, № 6. – P. 5. DOI: 10.3389/fncel.2012.00005
22. Viral vector-based tools advance knowledge of basal ganglia anatomy and physiology / R.J. Sizemore, S. Seeger-Armbruster, S.M. Hughes, L.C. Parr-Brownlie // *J Neurophysiol.* – 2016. – Vol. 115, № 4. – P. 2124–2146. DOI: 10.1152/jn.01131.2015
23. Шевченко В. Свет, камера ... нервный импульс! [Электронный ресурс] // *Биомолекула*. – 2017. – URL: <https://biomolecula.ru/articles/svet-kamera-nervnyi-impuls#source-5> (дата обращения: 12.04.2019).
24. Фиолетовый [Электронный ресурс] // *Справочник химика 21*. – URL: <http://chem21.info/info/193001/> (дата обращения: 12.04.2019).
25. Synaptic Elements for GABAergic Feed-Forward Signaling between HII Horizontal Cells and Blue Cone Bipolar Cells Are Enriched beneath Primate S-Cones / C. Puller, S. Haverkamp, M. Neitz, J. Neitz, S.C.F. Neuhauss // *PLoS One*. – 2014. – Vol. 9, № 2. – P. e88963. DOI: 10.1371/journal.pone.0088963
26. Математическое моделирование группы нейронов и астроцитов в условиях ишемического инсульта / С.С. Макаров, Ю.Н. Джебраилова, М.Е. Грачева, Е.А. Грачев, А.Г. Кочетов, Л.В. Губский // *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. – 2012. – Т. 112, № 8 (2). – С. 59–62.
27. Drone M.A. A mathematical model of ion movements in grey matter during a stroke // *Journal of Theoretical Biology*. – 2006. – № 240. – P. 599–615. DOI: 10.1016/j.jtbi.2005.10.023
28. Терёшина Е.В. Обоснование метаболической составляющей перфузионной среды для изолированного мозга [Электронный ресурс] // *Россия-2045. Стратегическое общественное движение*. – 2014. – URL: <http://2045.ru/news/32991.html> (дата обращения: 13.04.2019).
29. Transcellular degradation of axonal mitochondria / C.O. Davis, K.-Y. Kim, E.A. Bushong, E.A. Mills, D. Boassa, T. Shih, M. Kinebuchi, S. Phan [et al.] // *PNAS*. – 2014. – Vol. 111, № 26. – P. 9633–9638. DOI: 10.1073/pnas.1404651111

30. Chloride homeostasis in neurons with special emphasis on the olivocerebellar system: differential roles for transporters and channels / N. Rahmati, F.E. Hoebeek, S. Peter, C.I. De Zeeuw // *Front. Cell. Neurosci.* – 2018. – № 12. – P. 101. DOI: 10.3389/fncel.2018.00101
31. Go M.A., Daria V.R. Light-neuron interactions: key to understanding the brain // *Journal of Optics.* – 2017. – Vol. 19, № 2. – P. 023002. DOI: 10.1088/2040-8986/19/2/023002
32. Delpire E., Staley K.J. Novel determinants of the neuronal Cl⁻ concentration // *J. Physiol.* – 2014. – Vol. 1, № 592 (19). – P. 4099–4114. DOI: 10.1113/jphysiol.2014.275529
33. Two-photon imaging reveals somatodendritic chloride gradient in retinal ON-type bipolar cells expressing the biosensor Clomeleon / J. Duebel, S. Haverkamp, W. Schleich, G. Feng, G.J. Augustine, T. Kuner, T. Euler // *Neuron.* – 2006. – Vol. 5, № 49 (1). – P. 81–94. DOI: 10.1016/j.neuron.2005.10.035
34. 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. 25, № 345 (6195). – P. 385–386. DOI: 10.1126/science.1258295
35. Osborne N.N., Del Olmo-Aguado S. Maintenance of retinal ganglion cell mitochondrial functions as a neuroprotective strategy in glaucoma // *Current Opinion in Pharmacolog.* – 2013. – Vol. 13, № 1. – P. 16–22. DOI: 10.1016/j.coph.2012.09.002
36. LaFee S. Getting rid of old mitochondria: Some neurons turn to neighbors to help take out the trash [Электронный ресурс] // UC San Diego. – 2014. – URL: <https://www.technology.org/2014/06/17/getting-rid-old-mitochondria-neurons-turn-neighbors-help-take-trash/> (дата обращения: 13.04.2019).
37. Капцов В.А., Дейнего В.Н., Уласюк В.Н. Полупроводниковые источники белого света с биологически адекватным спектром излучения // *Глаз.* – 2018. – Т. 119, № 1. – С. 25–33.

Капцов В.А., Дейнего В.Н. Нерациональное освещение как риск здоровью в условиях Арктики // *Анализ риска здоровью.* – 2020. – № 1. – С. 177–190. DOI: 10.21668/health.risk/2020.1.18

UDC 614/5: 644.36
DOI: 10.21668/health.risk/2020.1.18.eng

Read
online



IRRATIONAL LIGHTING AS A HEALTH RISK OCCURRING IN THE ARCTIC

V.A. Kaptsov¹, V.N. Deinego²

¹All-Russian Research Institute of Railway Hygiene, Bldg. 1, 1 Pakgauznoe shosse, Moscow, 125438, Russian Federation

²Scientific and production commercial company “ELTAN LTD”, 2 Zavodskoy Prospekt, Fryazino, 141190, Russian Federation

We assessed health risks for operators who had to live in mobile houses in the Arctic regions. Inadequate lighting is a most significant factor related to housing conditions that can cause various pathologies resulting in decreasing working capacity. We revised data on impacts exerted by luminous and LED lighting on operators and it allowed us to determine reasons for “aftereffects” produced by LED lighting regarding an increase in latency in No. 95 pattern electroretinogram (PERG); this latency characterizes a situation with ganglionic cells in the visual analyzer. We put forward a hypothesis that lower “inhibition” efficiency was caused by absorption of blue light within 380–450 nanometers range, and an increase in PERG P50 amplitude was caused by an additional increase in Na⁺, Ca⁺ ions flows when ChR2 protein absorbed excessive 470 nm blue light against a blue light dose in a luminous lamp spectrum.

We showed that there were practically no changes in operators’ health after they had been exposed to dynamic LED lighting; however, all the participants in the experiment had a W-like splitting in P100 peak in visually induced cortical potentials as a response to stimuli with different angle sizes. When ganglionic cells are exposed to blue lighting, interaction between their degrading mitochondria and astrocytes becomes very important. LED lighting results in damage to mitochondria in ganglionic cells. Mitochondria are moved to the optic nerve head to be utilized where they are absorbed by astrocytes and eliminated with their lysosome. Should a speed of degrading mitochondria inflow exceed a speed at which they are utilized, it will cause mechanical strains in fibers of the optic nerve head due to “mitochondria jam”; this, in its turn, can lead to long-term disorders in the optic nerve head and glaucoma occurrence.

© Kaptsov V.A., Deinego V.N., 2020

Valerii A. Kaptsov – Doctor of Medical Sciences, The Corresponding Member of the RAS, Head of the Occupational Hygiene Department (e-mail: kapcovva39@mail.ru; tel.: +7 (499) 15-33-628; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3130-2592>).

Vitalii N. Deinego – Senior researcher (e-mail: vn-led@bk.ru; tel.: +7 (916) 530-68-82).

We formulated recommendations for the State Standard 23274-84 "Mobile houses. Electrical appliances. Overall technical conditions" and advised applying semi-conductor white light sources in them as they had a biologically adequate irradiation spectrum.

Key words: mobile houses, LED lighting, blue light, optic nerve, mitochondrion, astrocyte, glaucoma, biologically adequate irradiation spectrum.

References

1. Skupov B. Tsilindricheskii unifitsirovannyi blok. Mobil'nyi dom dlya zhizni v ekstremal'nykh usloviyakh [A cylindrical unified block. A mobile house for living under extreme conditions]. *Stroitel'nyi ekspert. Portal dlya spetsialistov arkhitekturno-stroitel'noi oblasti*. Available at: <https://ardexpert.ru/article/6227> (12.04.2019) (in Russian).
2. Zhilye vagon-doma. Dlya obespecheniya komfortnykh uslovii prozhivaniya i raboty na Krainem Severe [Mobile houses used for providing comfortable conditions for living and working in the Polar Regions]. *CABA servis. Zavod mobil'nykh zdanii*. Available at: <https://www.savaservis.ru/catalog/vagon-doma/zhilye/> (12.04.2019) (in Russian).
3. Leccese F., Vandelanotte V., Salvadori G., Rocca M. Blue Light Hazard and Risk Group Classification of 8 W LED Tubes, Replacing Fluorescent Tubes, through Optical Radiation Measurements. *Sustainability*, 2015, vol. 7, no. 10, pp. 13454–13468. DOI: 10.3390/su71013454
4. Vandelanotte V., Leccese F., Corucci T., Rocca M. Optical Radiation Measurements and Risk Group Determination of 8W LED Tubes for General Lighting. *CIRIAF National Congress Environmental Footprint and Sustainable Development Perugia, Italy*, 2015, pp. 1–11.
5. Bazyleva L.V., Bolekhan V.N., Ganapol'skii V.P. Svetodiody v kachestve osnovnogo osveshcheniya: problem i puti resheniya [LEDs as a basic lighting source: issues and ways to resolve them]. *Materialy 3-go Aziatsko-Tikhookeanskogo kongressa po voennoi meditsine: sbornik tezisev konferentsii*, Sankt-Peterburg, 2016, pp. 7–8 (in Russian).
6. Bolekhan V.N., Ganapol'skii V.P., Shchukina N.A., Bazyleva L.V. Kompleksnoe issledovanie vliyaniya svetodiodykh istochnikov sveta na funktsional'noe sostoyanie organizma cheloveka [A complex examination of impacts exerted by LED lighting sources on functional state of a human body]. *Meditsina i zdravookhranenie: materialy V Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii*. Kazan, Buk Publ., 2017, pp. 85–88 (in Russian).
7. Zak P.P., Ostrovskii M.A. Potential danger of light emitting diode illumination to the eye, in children and teenagers. *Svetotekhnika*, 2012, no. 3, pp. 4–6 (in Russian).
8. Smoleevskii A.E., Man'ko O.M., Bubeev Yu.A., Smirnova T.A. Psychophysiological effects of led lighting in conditions of the hermetic objects. *Izvestiya Rossiiskoi voenno-meditsinskoi akademii*, 2018, vol. 37, no. 2, pp. 124–127 (in Russian).
9. SB082-055 A Spectrally Dynamic Berth Light for Active Circadian Cycle Management. *SBIR. STTR. America's seed fund*, 2010. Available at: <https://www.sbir.gov/sbirsearch/detail/166396> (12.04.2019).
10. Deinego V.N., Kaptsov V.A., Balashevich L.I., Svetlova O.V., Makarov F.N., Guseva M.G., Koshits I.N. Prevention of ocular diseases in children and teenager in classrooms with led light sources of the first generation. *Rossiiskaya detskaya oftal'mologiya*, 2016, no. 2, pp. 57–73 (in Russian).
11. SB082-055 A Spectrally Dynamic Berth Light for Active Circadian Cycle Management. *SBIR. STTR. America's seed fund*, 2010. Available at: <https://www.sbir.gov/sbirsearch/detail/131805> (12.04.2019).
12. Energy Focus, Inc. Receives \$ 1.6 Million to Develop LED Lighting for DARPA and NASA. *LIGHTimes Online – LED Industry News*. Available at: <http://www.solidstatelighting.net/energy-focus-inc-receives-1-6-million-to-develop-led-lighting-for-darpa-and-nasa/> (12.04.2019).
13. Rao F., Chan A.H.S., Zhu X.-F. Effects of photopic and circadian illumination on steady state pupil size. *Vision Research*, 2017, vol. 137, pp. 24–28. DOI: 10.1016/j.visres.2017.02.010
14. Kuryshva N.I., Kiseleva T.N., Khodak N.A., Irtegov E.Yu. Issledovanie bioelektricheskoi aktivnosti i krovosnabzheniya setchatki pri glaukome RMZh [Research on bioelectrical activity and blood supply to the retina in patients with glaucoma]. *RMZh. Klinicheskaya oftal'mologiya*, 2012, vol. 13, no. 3, pp. 91–94 (in Russian).
15. Amirov A.N., Zainutdinov I.I., Zvereva O.G., Korobitsin A.N. Elektoretinograficheskie pokazateli sostoyaniya setchatki i zritel'nogo nerva u patsientov POUG primenyayushchikh Travatan [Electroretinogram parameters showing a state of the retina and optic nerve in patients with primary simple glaucoma who take Travatan]. *Novosti glaukomy*, 2016, vol. 37, no. 1, pp. 83–84 (in Russian).
16. Bach M., Brigell M.G., Hawlina M., Holder G.E., Johnson M.A., McCulloch D.L., Meigen T., Viswanathan S. ISCEV standard for clinical pattern electroretinography (PERG): 2012 update. *Ophthalmol*, 2013, no. 126, pp. 1–7. DOI: 10.1007/s10633-012-9353-y
17. Holder G.E. Pattern electroretinography (PERG) and an integrated approach to visual pathway diagnosis. *Prog. Retin. Eye Res*, 2001, vol. 20, no. 4, pp. 531–561. DOI: 10.1016/s1350-9462(00)00030-6
18. Egorov V.V., Smolyakova G.P., Borisova T.V., Gokhua O.I. Fizioterapiya v oftal'mologii: monografiya dlya vrachei oftal'mologov i fizioterapevtov [Physiotherapy in ophthalmology: a monograph for ophthalmologists and physiotherapists]. Khabarovsk: Red.-izd. tsentr IPKSZ Publ., 2010, 335 p. (in Russian).
19. Skobareva Z.A., Teksheva L.M. Biologicheskie aspekty gigienicheskoi otsenki estestvennogo i iskusstvennogo osveshcheniya [Biological aspects in hygienic assessment of natural and artificial lighting]. *Svetotekhnika*, 2003, no. 4, pp. 7–13 (in Russian).
20. Zefirov A.L., Mukhamed'yarov M.A. Elektricheskie signaly vzbudimykh kletok [Electrical signals in excitable cells]. Kazan', Kazanskiy gosudarstvennyi meditsinskii universitet Publ., 2008, pp. 119 (in Russian).
21. Chamma I., Chevy Q., Poncer J.C., Lévi S. Role of the neuronal K-Cl co-transporter KCC2 in inhibitory and excitatory neurotransmission. *Front. Cell. Neurosci*, vol. 21, no. 6, pp. 5. DOI: 10.3389/fncel.2012.00005

22. Sizemore R.J., Seeger-Armbruster S., Hughes S.M., Parr-Brownlie L.C. Viral vector-based tools advance knowledge of basal ganglia anatomy and physiology. *J. Neurophysiol.*, 2016, vol. 115, no. 4, pp. 2124–2146. DOI: 10.1152/jn.01131.2015
23. Shevchenko V. Svet, kamera ... nervnyi impuls! [Light, camera ... a nerve impulse!]. *Biomolekula*, 2017. Available at: <https://biomolekula.ru/articles/svet-kamera-nervnyi-impuls#source-5> (12.04.2019) (in Russian).
24. Fioletovyi [Violet]. *Spravochnik khimika 21*. Available at: <http://chem21.info/info/193001/> (12.04.2019) (in Russian).
25. Puller C., Haverkamp S., Neitz M., Neitz J., Neuhauss S.C.F. Synaptic Elements for GABAergic Feed-Forward Signaling between HII Horizontal Cells and Blue Cone Bipolar Cells Are Enriched beneath Primate S-Cones. *PLoS One*, 2014, vol. 9, no. 2, pp. e88963. DOI: 10.1371/journal.pone.0088963
26. Makarov S.S., Dzhebrailova Y.N., Gracheva M.E., Grachev E.A., Kochetov A.G., Gubskii L.V. Mathematical modeling of group of neurons and astrocytes in ischemic stroke. *Zhurnal nevrologii i psikiatrii im. S.S. Korsakova*, 2012, vol. 112, no. 8 (2), pp. 59–62 (in Russian).
27. Drone M.A. A mathematical model of ion movements in grey matter during a stroke. *Journal of Theoretical Biology*, 2006, no. 240, pp. 599–615. DOI: 10.1016/j.jtbi.2005.10.023
28. Tereshina E.V. Obosnovanie metabolicheskoi sostavlyayushchei perfuzionnoi sredy dlya izolirovannogo mozga [Substantiating a metabolic component in perfusion medium for an isolated brain]. *Rossiya-2045. Strategicheskoe obshchestvennoe dvizhenie*, 2014. Available at: <http://2045.ru/news/32991.html> (13.04.2019) (in Russian).
29. Davis C.O., Kim K.-Y., Bushong E.A., Mills E.A., Boassa D., Shih T., Kinebuchi M., Phan S. [et al.]. Transcellular degradation of axonal mitochondria. *PNAS*, 2014, vol. 111, no. 26, pp. 9633–9638. DOI: 10.1073/pnas.1404651111
30. Rahmati N., Hoebeek F.E., Peter S., De Zeeuw C.I. Chloride homeostasis in neurons with special emphasis on the olivocerebellar system: differential roles for transporters and channels. *Front. Cell. Neurosci.*, 2018, no. 12, pp. 101. DOI: 10.3389/fncel.2018.00101
31. Go M.A., Daria V.R. Light-neuron interactions: key to understanding the brain. *Journal of Optics*, 2017, vol. 19, no. 2, pp. 023002. DOI: 10.1088/2040-8986/19/2/023002
32. Delpire E., Staley K.J. Novel determinants of the neuronal Cl⁻ concentration. *J. Physiol.*, 2014, vol. 1, no. 592 (19), pp. 4099–4114. DOI: 10.1113/jphysiol.2014.275529
33. Duebel J., Haverkamp S., Schleich W., Feng G., Augustine G.J., Kuner T., Euler T. Two-photon imaging reveals somatodendritic chloride gradient in retinal ON-type bipolar cells expressing the biosensor Clomeleon. *Neuron*, 2006, vol. 5, no. 49 (1), pp. 81–94. DOI: 10.1016/j.neuron.2005.10.035
34. 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. 25, no. 345 (6195), pp. 385–386. DOI: 10.1126/science.1258295
35. Osborne N.N., Del Olmo-Aguado S. Maintenance of retinal ganglion cell mitochondrial functions as a neuroprotective strategy in glaucoma. *Current Opinion in Pharmacology*, 2013, vol. 13, no. 1, pp. 16–22. DOI: 10.1016/j.coph.2012.09.002
36. LaFee S. Getting rid of old mitochondria: Some neurons turn to neighbors to help take out the trash. *UC San Diego*, 2014. Available at: <https://www.technology.org/2014/06/17/getting-rid-old-mitochondria-neurons-turn-neighbors-help-take-trash/> (13.04.2019).
37. Kaptsov V.A., Deinego V.N., Ulasiuk V.N. Semiconductor sources of white light with biologically adequate radiation spectrum. *Glaz*, 2018, vol. 119, no. 1, pp. 25–33 (in Russian).

Kaptsov V.A., Deinego V.N. Irrational lighting as a health risk occurring in the arctic. Health Risk Analysis, 2020, no. 1, pp. 177–190. DOI: 10.21668/health.risk/2020.1.18.eng

Получена: 29.10.2019

Принята: 09.02.2020

Опубликована: 30.03.2020