

© КАПЦОВ В.А., ДЕЙНЕГО В.Н., 2024



Капцов В.А., Дейнего В.Н.

Светодиодные источники света с солнцеподобным спектром излучения для детских учреждений

ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт гигиены транспорта» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 125438, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

«В России по национальному проекту «Образование» идёт масштабная программа по строительству школ. Уже порядка 700 школ построено, а если в целом по всем программам — это 900 школ... Многие школы с бассейнами, современными столовыми...» — отметил глава профильного министерства на встрече с президентом Российской Федерации В.В. Путиным в начале 2023 г. Всего на финансирование программы строительства новых школ направлено около 750 млрд рублей (в неё входят 454 млрд из федерального бюджета). Всего планируется построить 1300 учебных заведений, в которых будет более 1 млн мест. Наряду со строительством новых школ планом предусмотрена реализация до конца 2026 г. программы капитального ремонта и технического обновления действующих общеобразовательных учреждений: в неё войдут 7300 зданий. Выросли темпы капитального ремонта: в 2022–2023 гг. будет отремонтировано три тысячи зданий, преимущественно в сельской местности. К 2024 г. все 27 тыс. сельских школ будут оснащены современным оборудованием. В современных школах предусматривается оборудование компьютерных классов современной вычислительной техникой и широкое применение светодиодного освещения, согласно планам энергосбережения. Негативные последствия воздействия спектра света светодиодного освещения и мониторов персональных компьютеров на здоровье детей и подростков, в частности на рост миопии, в настоящее время недостаточно изучены.

В работе использованы аналитические, социологические и статистические методы. Описана взаимосвязь физиологических и поведенческих факторов, возможно, приводящих к снижению зрения. Выдвинуто предположение о вкладе в формирование близорукости перестройки работы зрительного анализатора, связанной с селекцией информации в соответствии с предлагаемыми в социальной среде моделями; с снижением собственной поисковой активности при усилении близорукости; с усилением функционирования систем внутренней обработки информации и снижением систем восприятия и реализации действий.

Ограничения исследования. Исследование ограничивалось материалами баз данных Scopus, Web of Science, MedLine, The Cochrane Library, EMBASE, Global Health, CyberLeninka, РИНЦ и результатами собственных экспериментов.

Заключение. Спектральный состав искусственного света и его интенсивность создают предпосылки развития миопии или иного функционально-структурного отклика в многообразии ганглиозных, амакриновых клеток и рецепторов зрительного анализатора многоклеточных животных. Узкий и неполный спектр света отечественных светодиодных ламп не может быть хорошим выбором для профилактики близорукости у детей. С учётом многообразия опсинов зрительного анализатора человека нами разработан и изготовлен с применением светодиодов и люминофоров искусственный источник света, спектр которого учитывает спектральную светочувствительность опсинов глаза человека и максимально приближен к спектру солнечного света при коррелированной цветовой температуре около 4000 и 3000 К. В настоящее время изготовлена первая партия светильников, спектральный состав излучаемого света которых не имеет аналогов и опережает по составу спектра и уровню эффективности лучшие мировые образцы. Спектр этого источника света демонстрировался в презентации на «Эрисмановских чтениях 2023».

Для выяснения биологических механизмов развития миопии у детей необходимы дополнительные усилия в рамках нового научного направления — эволюционной гигиены. Это позволит установить, как повлияли малые изменения в составе спектра света (выброс в области 410–450 нм, провал в области 480 нм и отсутствие 380 нм) искусственных источников на катастрофические (хаотические) изменения на геномном уровне человека и всего живого мира.

Ключевые слова: светодиодное освещение; миопия; спектральный состав; световая среда; эволюционная гигиена

Для цитирования: Капцов В.А., Дейнего В.Н. Светодиодные источники света с солнцеподобным спектром излучения для детских учреждений. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(3): 273–282. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-3-273-282> <https://elibrary.ru/qzwyup>

Для корреспонденции: Капцов Валерий Александрович, доктор мед. наук, профессор, чл.-корр. РАН, руководитель отд. гигиены труда ФГУП «Всероссийский НИИ гигиены транспорта» Роспотребнадзора, 125438, Москва. E-mail: karcovva39@mail.ru

Участие авторов: Капцов В.А. — концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи; Дейнего В.Н. — сбор материала, обработка данных, написание текста.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 21.11.2023 / Поступила после доработки: 27.02.2024 / Принята к печати: 11.03.2024 / Опубликовано: 10.04.2024

Valery A. Kaptsov, Vitaly N. Deinego

LED light sources with a sun-like emission spectrum for children's institutions

All-Russian Research Institute of Transport Hygiene of Federal Service for Supervision in Protection of the Rights of Consumer and Man Wellbeing, Moscow, 125438, Russian Federation

ABSTRACT

The article looks more like a scientific-theoretical than an experimental one, so it is proposed to remove the IMRAD structure, especially since it is given only in the summary, but not in the article itself.

“In Russia, under the national project “Education”, a large-scale program for the construction of schools is underway. About 700 schools have already been built, and if in general for all programs, this is 900 schools.... Many schools have swimming pools, modern canteens...” noted the head of the relevant ministry at a meeting with the President of the Russian Federation Vladimir Putin at the beginning of 2023. In total, about 750 billion rubles were allocated to finance the program for the construction of new schools. (it includes 454 billion from the federal budget). In total, it is planned to build 1,300 educational institutions, which will have more than 1 million places. In addition to the construction of new schools, the plan provides for the implementation of a program of capital repairs and technical renovation of existing general education institutions by the end of 2026: it will include 7,300 buildings. The pace of capital renovations has also accelerated

in 2022–2023: three thousand buildings will be renovated, mainly in rural areas. By 2024, all 27 thousand rural schools, according to modern requirements, will be equipped with modern equipment. In modern schools, it is planned to equip computer classes with modern computing equipment, and energy saving plans provide for the widespread use of LED lighting. The reasons for the negative effects of the light spectrum of LED lighting and personal computer monitors on the health of children and adolescents, in particular the increase in myopia, have not yet been sufficiently studied.

Analytical, sociological, and statistical methods were used.

The relationship between physiological and behavioural factors that may lead to decreased vision is described. The restructuring of the work of the visual analyzer, associated with the selection of information in accordance with the models proposed in the social environment has been suggested to contribute to the formation of myopia; with a decrease in one's own search activity with increased myopia; with an increase in the functioning of internal information processing systems and a decrease in the systems of perception and implementation of actions.

Limitations. The study was limited to the area of study of the subject of research, materials from the Scopus, Web of Science, MedLine, The Cochrane Library, EMBASE, Global Health, CyberLeninka, RSCI databases and our own experiments.

Conclusion. The spectral composition of artificial light and its intensity give rise to the prerequisites for the development of myopia or another functional-structural response in the variety of ganglion, amacrine cells, and receptors in the visual analyzer of multicellular animals. The narrow and incomplete spectrum of light from domestic LED lamps cannot be a good choice for the prevention of myopia in children. Considering the diversity of opsins in the human visual analyzer, we have developed and manufactured an artificial, light source using LEDs and phosphors, the spectrum of which considers the spectral photosensitivity of opsins in the human eye and is close as possible to the spectrum of sunlight at a correlated colour temperature of about 4000 and 3000 K. The first one has now been manufactured a batch of lamps, the spectral composition of the emitted light of which has no analogues and is ahead of the world's best samples in terms of spectrum composition and efficiency level. The spectrum of this light source was demonstrated in a presentation at the Erisman Readings 2023. To elucidate the biological mechanisms of the development of myopia in children, additional efforts are needed within the framework of a new scientific direction - evolutionary hygiene. This will make it possible to establish how small changes in the composition of the light spectrum (emission in the region of 410–450 nm, dip in the region of 480 nm and absence of 380 nm) of artificial sources influenced catastrophic (chaotic) changes at the genetic level of humans and the entire living world.

Keywords: LED lighting; myopia; spectral composition; evolutionary hygiene

For citation: Kaptsov V.A., Deinego V.N. LED light sources with a sun-like emission spectrum for children's institutions. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal.* 2024; 103(3): 273–282. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-3-273-282> <https://elibrary.ru/qzwypp> (In Russ.)

For correspondence: Valery A. Kaptsov, MD, PhD, DSci., Professor, Corresponding Member RAS, Head of the Occupational Health Department of the All-Russian Research Institute of Transport Hygiene, Moscow, 125438, Russian Federation. E-mail: kaptcovva39@mail.ru

Contribution: Kaptsov V.A. – concept and design of the study, writing the text, editing, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article; Deinego V.N. – collecting material, processing data, writing text.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: November 21, 2023 / Revised: February 27, 2024 / Accepted: March 11 / Published: April 10, 2024

Президент Российской Федерации В.В. Путин 02.11.2023 г. подписал указ № 818 «О развитии природоподобных технологий в Российской Федерации», в котором поручил правительству в течение полугода разработать и утвердить план развития этих технологий, одной из которых и посвящена настоящая статья.

В России пионером в изучении методами гигиены возрастной динамики школьной миопии стал основоположник школьной гигиены Ф.Ф. Эрисман (1842–1915). Сегодня эта проблема актуальна в связи со сменой спектрального состава искусственной световой среды в школах. Исследования, проведённые в 2012 г. в Южной Корее, где массово применяются компактные люминесцентные лампы и светодиодные приборы освещения, показали почти сюрреалистический результат: 96,5% девятнадцатилетних мужчин призывного возраста имели миопию [1]. Школьная миопия из проблемы личного здоровья переходит в сферу общественного здравоохранения и государственной безопасности. Рост миопии может служить предпосылкой к генным мутациям зрительного анализатора многоклеточных животных, в частности человека. Генные мутации под воздействием несолнечного спектра излучения могут изучаться в рамках эволюционной гигиены. Естественные изменения в количестве, экспрессии и функции сенсорных генов в генной системе организма многоклеточного животного часто и тесно связаны с различными экологическими и эволюционными силами [2]. В перспективе проблемы, порождённые такой взаимосвязью, встанут перед колонизаторами космического пространства и уже частично стоят перед людьми, которые длительное время находятся в замкнутой искусственной среде обитания (подводники, полярники, ракетчики). В условиях глобального светового загрязнения в ночное время искусственными источниками света проблема выживания уже стала реальностью для птиц и насекомых. Учёные-светотехники формируют параметры световой среды в соответствии со своими целями, а порой исходя из сиюминутной выгоды (энергосбережение и обогащение). Дети становятся заложниками достижения этих целей. Великий русский гигиенист Ф.Ф. Эрисман отмечал, что

«...дети принуждено выкупать свои познания ценой здоровья». После проведения гигиенических исследований в гимназиях Ф.Ф. Эрисман определил так называемые школьные болезни: искривление позвоночного столба, близорукость, болезни лёгких и системы кровообращения. В 1870 г. учёный обращал внимание на неправильную планировку классов и их освещение, отсутствие вентиляции: «Ни для одного учебного предмета не выработаны ещё научные требования преподавания, основанные на сущности данной области науки и на условиях естественного развития молодого организма». Для исправления осанки школьников он изобрёл парту особой конструкции, впоследствии названную «партой Эрисмана». Правильное питание – одна из основ здорового образа жизни, поэтому учёный указывал на необходимость предоставить каждому ребёнку полноценную горячую еду во время его пребывания в школе.

Ф.Ф. Эрисман особо отмечал, что развитие близорукости у детей во многом вызвано нерациональным обустройством освещения в школах. В то время школы освещались солнечным светом через окна либо керосиновыми лампами (рис. 1) [3].

При обследовании 4358 учащихся пятнадцати гимназий и школ Санкт-Петербурга учёный выявил миопию у 13,6% детей в начальных классах и у 30,2% – в старших. Был сделан вывод о том, что с увеличением школьного стажа число учащихся с близорукостью увеличивается, а степень её возрастает (рис. 2) [4].

Выявленная Ф.Ф. Эрисманом закономерность сохраняется и в настоящее время. Он писал: «...школа действительно причиняет эту злостную болезнь; но я должен прибавить, что близорукость не есть неизбежное зло, которое необходимо сопряжено со школьным воспитанием; напротив, это зло, возникающее только от нецелесообразного устройства школ, и это зло было бы, конечно, устранено, если бы на устройство школ было бы более обращено внимание общества» [5]. Ещё в 1912 г. журнал «Известия Русского общества "Всеобщая компания электричества"» [6] обращал внимание читателей на преимущество использования электрического освещения перед керосиновыми лампами и стеариновыми свечами (рис. 3).



Рис. 1. Уроки в старших классах.

Fig. 1. Lessons in grammar school.

Прошло много лет, но до сих пор исследования зрительных и незрительных эффектов искусственного освещения не потеряли своей актуальности. Напротив, они приобрели особую значимость после внедрения светодиодного освещения, которое было выбрано главным энергосберегающим направлением. В работе китайских исследователей [7] был проведён анализ базы данных WOS, извлечено 11 172 документа о близорукости, опубликованных в период с 1900 по 2020 г. Первая статья о близорукости была опубликована в 1907 г., но до 1990 г. этой области исследований не уделялось особого внимания. Затем количество опубликованных статей постепенно увеличивалось: со 100 в 1991 г. до 400 после 2011 г. (рис. 4). В 2020 г. было опубликовано 822 статьи. В 2021 г. по состоянию на июнь было опубликовано 429 статей, и их число, вероятно, увеличится. Обобщённые данные приведены на рис. 4 и дополнены вставкой из истории освещения [8]. Даты внедрения энергосберегающих источников света за рубежом хорошо коррелируют с ростом числа статей, посвящённых миопии, в научной среде таких стран, как США, Австралия, Китай, Великобритания, Германия, Япония, Сингапур, Испания, Италия и Канада.

При переходе на компактные люминесцентные лампы и светодиодное освещение резко возрастает число публикаций, посвящённых миопии.

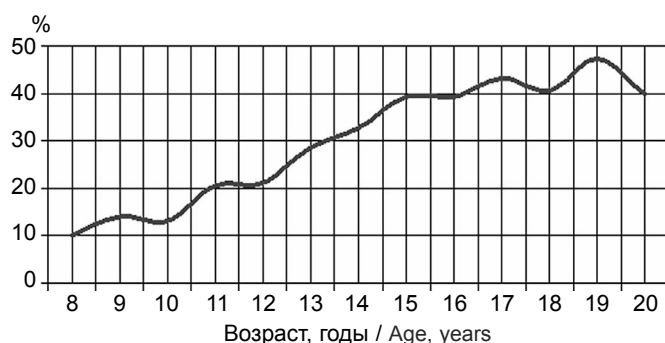


Рис. 2. Кривая развития миопии по годам (источник: Эрисман Ф., 1870).

Fig. 2. The curve of the development of myopia by years (source: Erisman F., 1870).

Первое упоминание о близорукости встречается у Аристотеля (384–322 гг. до н. э.). Он отмечал, что при слабости шурящегося глаза к нему близко подносят то, что хотят увидеть. У Аристотеля впервые встречается и слово «миопс», означавшее «закрывать глаза, мигая», от которого произошёл современный термин «миопия». Представляет интерес высказывание Александра Тралльского (550 г. н. э.): «Напряжённое чтение создаёт восприимчивость к глазным страданиям». О сущности миопии в то время ещё ничего не знали, однако некоторые учёные уже обращали внимание на связь близорукости с увеличением глазного яблока. Более или менее удачные попытки объяснить происхождение миопии начали предпринимать после того, как знаменитый астроном Иоганн Кеплер (Johannes Kepler, 1611) дал правильное описание зрительного акта и диоптрики глаза и указал на то, что при миопии изображение рассматриваемого предмета получается не на сетчатке, а перед ней. Особую роль в развитии взглядов на происхождение миопии сыграли труды Германа Людвиг Фердинанда фон Гельмгольца (H. Helmholtz, 1855), Франца Корнелиуса Дондерса (F.C. Donders, 1866) и Альвара Гульстранда (A. Gullstrand, 1911), создавших учение о рефракции и аккомодации глаза [9]. В те далёкие времена не многие люди находились длительное время в условиях искусственного освещения, а кто не имел достаточного зрения для условий выживания, погибали.

Резкий рост близорукости среди населения увеличил её социально-экономическое бремя и создал проблему общественного здоровья во всём мире. Проведение научных эпидемиологических исследований является основой для изучения связанных факторов, влияющих на близорукость, которые имеют решающее значение для вмешательства в её возникновение и прогрессирование [10]. До 1980 г. мало что было известно о распространении близорукости среди населения мира. Первое проспективное исследование факторов риска близорукости показало, что более ранний возраст является фактором риска развития близорукости высокой степени, что приводит к некорректируемому ухудшению зрения или слепоте. Офтальмологи считают, что близорукость обусловлена сложным взаимодействием между многочисленными общими генетическими факторами и факторами окружающей среды (продолжительность пребывания вне помещения, работа на близком расстоянии). В настоящее время описано около 200 генетических локусов для рефракционной ошибки и миопии, которые в основном связаны

с низким риском и широко распространены в общей популяции. Опыленные гены имеют широкий спектр функций, и все слои сетчатки являются местом экспрессии, играя определенную роль в передаче, клеточной адгезии, связывании ионов кальция, активности катионного канала и компонентов внеклеточного матрикса. Многие гены зависят от света и связаны с клеточным циклом и алгоритмами роста. Генетический фонд мало изменился за последние несколько десятилетий, но факторы окружающей среды могут быть ответственны за быстрый рост распространенности близорукости [11]. Похоже, что школьная близорукость является многофакторной, тесно связанной с интенсивными образовательными нагрузками и ограниченной деятельностью на свежем воздухе [12]. Что касается уровня образования, то среди мальчиков, посещающих ортодоксальные школы в Израиле, наблюдалась высокая распространенность близорукости по сравнению с их сверстниками, посещающими светские школы. Задействованный механизм неясен, однако занятия в религиозных школах требуют большей аккомодации, которая может стимулировать рост глаз. Согласно преобладающему мнению, более длительное время, проведенное на открытом воздухе, может предотвратить близорукость [13]. Это условия полноспектрного света, в которых происходит уменьшение митохондриального окислительного стресса в клетках сетчатки глаза. Имеющиеся данные подтверждают, что наружный солнечный свет в дневное время может действовать как защитный фактор, добавляя концентрации дофамина (или ацетилхолина) в сетчатке и, следовательно, предотвращая близорукость [14]. К сожалению, сегодня и взрослые, и особенно дети всё больше времени проводят в искусственной световой среде, создаваемой разными источниками света.

В соответствии с решениями Главного государственного санитарного врача Российской Федерации и рекомендациями по замене ламп накаливания на энергосберегающие светодиоды, данными Президентской комиссией по модернизации, заседание которой прошло в Ханты-Мансийске в 2010 г., в школах и детских дошкольных учреждениях предусматривается применение светодиодного освещения со стандартным спектром излучения света (синий светодиод плюс жёлтый люминофор).

Мы сразу дали гигиеническую оценку этому светодиодному спектру, которая была уточнена с учётом функционального типового многообразия клеточных структур зрительного анализатора (опсинов, ганглиозных и амакриновых клеток, нейромедиаторов и рецепторов, связанных с G-белками, аквапоринов) и их незрительного отклика на

© 2022
piter_vo@mail.ru

14 ИЗВЕСТИЯ РУССКОГО ОБЩЕСТВА „ВСЕОБЩ. КОМПАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА“

Электричество в школах.

Въ короткіе зимніе дни, когда въ силу необходимости преподаваніе въ школахъ продолжается по вечерамъ, а также и на вечернихъ специальныхъ курсахъ, является необходимостью въ хорошемъ эффективномъ освѣщеніи. Такъ какъ при керосиновомъ освѣщеніи не смотря на никакія ухищренія этого достигнуть не удавалось, то прямымъ выходомъ изъ этого положенія является переходъ на электрическое освѣщеніе. Молодое поколѣніе послѣднихъ лѣтъ замѣтно становится болѣе хилымъ вообще и обладаетъ плохимъ зрѣніемъ въ частности. Причину этого нужно искать отчасти, конечно въ домашнемъ быту, но болѣею частью въ школахъ, гдѣ наши дѣти проводятъ самыя лучшіе годы своей юности. Какъ на при-

чину отравленія юного организма мы можемъ указать на примѣненіе керосинового или газового освѣщенія въ школахъ, а также отсутствіе вентиляціи и т. п. Взамѣнъ керосинового и газового освѣщенія безусловно вредно отзывающагося на еще не окрѣпшемъ организмѣ, мы устанавливаемъ электрическое освѣщеніе, которое не говоря уже объ изящности обладаетъ громадными преимуществами передъ вышеприведенными, а именно:

Рис. 3. Иллюстрации к статье в журнале «Известия Русского общества «Всеобщая компания электричества»».

Fig. 3. Illustration of an article in the Journal “News of the Russian society” (Izvestiya Russkogo obshchestva): “Universal Electricity Company” (Vseobshchaya kompaniya elektrichestva).

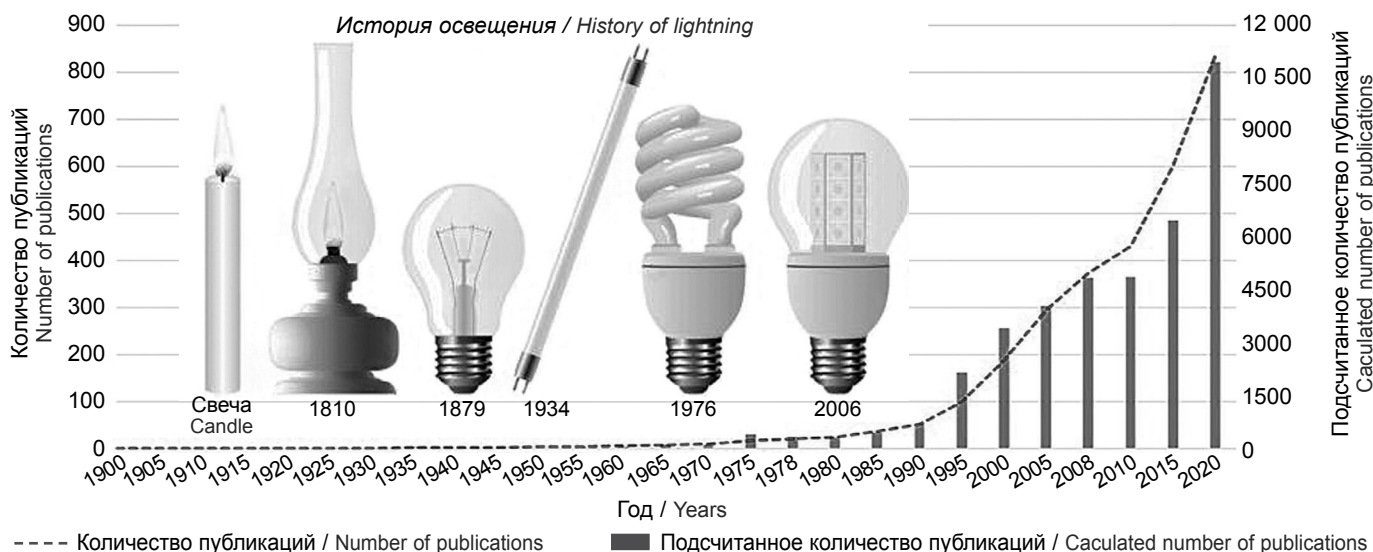


Рис. 4. Количество опубликованных исследований, посвящённых миопии, по годам (1900–2020).

Fig. 4. The number of published studies devoted to myopia, by years (1900–2020).

Фоторецепторы опсина млекопитающих и характер их экспрессии, функциональная роль и приблизительная чувствительность к максимальной длине волны [18]

Mammalian opsin photoreceptors and their expression pattern, functional role, and approximative maximal wavelength sensitivity [18]

Сокращение Abbreviation	Наименование Name	Расположение / Location			Главная роль Main role	Максимальная чувствительность, нм Maximum sensitivity, nm	
		глаз / eye	кожа / skin	мозг / brain		мышь mouse	человек human
OPN1							
OPN1LW	L-конус опсин / L-cone opsin	Колбочки / Cones	–	–	Зрительная / Visual	–	560
OPN1MW	Опсин М-конуса M-cone opsin	Колбочки / Cones	–	–	Зрительная / Visual	510	530
OPN1SW	S-конус опсин / S-cone opsin	Колбочки / Cones	Кожа / Skin	–	Зрительная / Visual	360	420
OPN2	Родопсин / Rhodopsin	Палочки / Rods	Кожа / Skin	–	Зрительная / Visual	500	–
OPN3	Энцефалопсин Encephalopsin	Палочки, колбочки Sticks, cones	Кожа / Skin	Мозг Cerebral	Незрительная Non-visual	–	–
		Плексиформные слои Plexiform layers					
		Ганглиозные клетки Ganglion cells					
OPN4	Меланопсин / Melanopsin	ipRGC _s	–	–	Незрительная Non-visual	480	–
OPN5	Нейропсин / Neuropsin	RGC _s	Кожа / Skin	–	Незрительная Non-visual	380	–
Опсины Go/RGR (Go/RGRopsin)							
RRH	Перопсин / Peropsin	Пигментный эпителий сетчатки RPE	–	–	Незрительная Non-visual	–	–
RGR	Рецептор, связанный с G-белком сетчатки Retinal G protein Coupled receptor	Пигментный эпителий сетчатки RPE	–	–	Незрительная Non-visual	–	–

спектральный состав света (в частности, красный, голубой, синий и фиолетовый). Методической основой такого гигиенического подхода явился сформулированный нами принцип необходимого многообразия [15] для фоточувствительных биологических систем, эволюция которых проходила в условиях спектра солнечного света. При этом был учтён «фотобиологический парадокс» сущности воздействия света на зрительный анализатор человека. По мнению академика М.А. Островского, естественный свет выступает как фактор риска для фоторецепторных клеток и пигментного эпителия. В работе [16] учёный отмечал, что, согласно эпидемиологическим данным, существует корреляция между интенсивностью, спектральным составом света и развитием ряда глазных болезней, в частности такой распространённой патологии, как старческая макулярная дегенерация сетчатки. При этом отмечено, что возникающие на оптимальном уровне митохондриальные активные формы кислорода в клетках глаза необходимы для управления их генетическим аппаратом. Некоторые особенности гигиенической оценки спектра светодиодного света приведены на рис. 5 (см. на вклейке).

Ранее мы подробно останавливались на незрительных механизмах спектра светодиодного освещения – управлении гормональной системой, диаметром зрачка, синтезе родопсина [17]. Управление свето-информационным потоком через глаза – это эффективное управление как мозгом человека, так и организмом в целом. Мы рассматриваем лишь некоторые особенности этих процессов. В настоящее время на основе указанных особенностей формируется огромное количество патентов светодиодных брендов. В статье «Молекулярная физиология зрительного пигмента родопсина: актуальные направления» (2020 г.) академик М.А. Островский отмечал, что родопсины II типа, в том числе зрительные, – одни из древнейших белков животного царства. Они появились у эукариотов около миллиарда лет назад. Родоп-

сины II типа в подавляющем большинстве функционируют как G-белок, связывающий рецепторы, и несут фоторецепторную функцию. Идентифицировано несколько подгрупп незрительных опсинов. К ним, в частности, относятся меланопсин, найденный в ганглиозных клетках сетчатки, а также в клетках мозга и ответственный за циркадные ритмы и зрачковый рефлекс; нейропсин (Opn5), найденный в нервных клетках; энцефалопсин, обнаруженный в клетках мозга и висцеральных органов; пиропсин, найденный в клетках ретинального пигментного эпителия. Родопсин, экспрессируемый палочковидными фоторецепторными клетками, является одним из девяти продуктов гена опсина, кодируемых в геноме человека (см. таблицу). Известно, что из девяти опсинов родопсин и три колбочковых опсина являются моностабильными или «отбеливающими опсинами», теряющими свой фотоизомеризованный агонист транс-ретинолидена в результате гидролиза и высвобождения полностью транс-ретинола. Считается, что гидролиз колбочковых опсинов происходит значительно быстрее, чем гидролиз родопсина. Эти реакции хорошо описаны в работе академика М.А. Островского и специалистов лаборатории физико-химических основ рецепции Института биохимической физики им. Н.М. Эммануэля РАН.

Из таблицы видно, что нейроопсин OPN5 находится в ганглиозных клетках, которые совместно с клетками Мюллера первыми воспринимают свет. Клетки Мюллера подобно оптоволокну проводят свет к колбочкам и палочкам и определяют кривую видности глаза [18]. В настоящей работе мы более подробно рассматриваем биологическое значение длины волны 380 нм, ответственной за управление геометрией структур глаза и процессы фотоцикла родопсина, которые хорошо описаны в работах академика М.А. Островского.

Коротковолновый видимый фиолетовый свет отсутствует в применявшихся прежде и современных искусственных источниках света для школ и является компонентом солнечного

света, который, по-видимому, играет важную роль в предотвращении прогрессирования миопии у человека, а также мышей и цыплят. Механизм, лежащий в основе этого эффекта, активно обсуждается в научных публикациях. Можно предположить, что фиолетовый свет предотвращает близорукость, вызванную дефокусировкой хрусталика и изменением оптической оси глаза. Этот эффект фиолетового света зависит как от времени суток, так и от экспрессии в сетчатке чувствительного к нему атипичного опсина, нейропсина (OPN5), который идентифицирует Opn5-экспрессирующий ганглиозный (или амакриновый) клетки сетчатки, имеющие решающее значение для эмметропизации и стратегии предотвращения близорукости у людей (рис. 6, см. на вклейке).

Эту особенность необходимо учитывать при изготовлении источников света для школ, так как современная отечественная нормативная документация не регламентирует параметры спектра искусственного света. Для отечественных светотехников существует просто белый свет, который они описывают не спектральными характеристиками (коррелированная цветовая температура, значения которой переводятся в нечёткие понятия «тёплый свет», «холодный свет»; коэффициент цветопередачи). Эти характеристики могут быть реализованы любыми источниками света с любыми спектрами, которые отличаются в негативную сторону от состава диапазона света, видимого глазом человека. Ещё в 2003 г. специалисты НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина РАМН считали, что излучение биологического действия света на человека остаётся актуальной проблемой гигиены освещения. Экспериментально на клеточном, биологическом и психофизиологическом уровнях была доказана биологическая неадекватность естественного и искусственного света равной интенсивности, которая сохраняется и при повышении уровня освещённости от искусственных источников света [19]. Но на этот факт ведущие специалисты в области российской светотехники не обратили внимания при разработке программной работы «Светотехника на 20-е годы XXI века», а сосредоточились на том, что «...недостаток пищи решается созданием крупномасштабных облучательных установок, многократно форсирующих продуктивность животноводства, птицеводства, растениеводства, всё это должно делаться на основе исследований влияния спектрального состава излучения его интенсивности и периодичности действия».

На рис. 7 (см. на вклейке) приведены спектры излучения отечественных белых светодиодов, которые массово применяются в светодиодных светильниках для освещения школьных и детских учреждений. Эти белые светодиоды разработаны в рамках программ по импортозамещению и имеют приоритетное применение в отечественных светильниках для школьного освещения.

Как видно на этих графиках, независимо от цветовой температуры все кривые характеризуются выбросом синего света на 450 нм, провалом на 480 нм, практически полным отсутствием красного света и, самое главное, абсолютным отсутствием фиолетового с длиной волны 380 нм. Данные спектры светодиодов характеризуют достижения РОСНАНО, которым руководил А.Б. Чубайс [20], и находят свою преемственность в консервативной отечественной светотехнической промышленности. С 2011 г. техническую политику светодиодной отрасли определяла Ассоциация производителей светодиодов и систем на их основе (АПСС), которая в соответствии с уставом занимается лоббированием интересов российских производителей светодиодов и светодиодных систем на всех уровнях власти и в различных отраслях народного хозяйства. Хотя уже в 2017 г. офтальмологи при обсуждении проблемы «синей опасности» светодиодного освещения отмечали, что «...проблема воздействия формально не стоит. Нет спроса со стороны социума, нет соответствующего «заказа» со стороны государства, практически отсутствует обсуждение в сфере офтальмологического сообщества. Проблема излучения 440–460 нм в светодиодных светильниках в настоящее время завуалирована и недооце-

нена, но она обязательно «выстрелит» в будущем, когда дегенеративные заболевания сетчатки резко «помолодеют», <...> государство озадачится в связи с потерей части трудоспособного населения и увеличения расходов на медицину» [21].

Прошли годы непослушания, лоббирования, в отечественную светодиодную промышленность вложены огромные средства, а паттерн спектра света отечественных светодиодов не изменился. При этом зарубежные компании постоянно стремятся изменить спектр света с учётом рекомендаций научных организаций, регулирующих здравоохранение в своих странах: уменьшают выброс синего света 450–460 нм, заполняют провал 480 нм, расширяют диапазон 380 и 670 нм. Причём активно эта работа проводится для фитосветильников, так как эффект от внедрения очевиден в течение года. Для спектра фотосветильников была разработана кривая, огибающая наиболее эффективные области фотосинтеза (рис. 8, 9, см. на вклейке).

Например, светильник Flasher 2 FL 100-IRUVS Infrared & Ultraviolet Spectrum (IRUVS), разработанный для выращивания цветущих растений, некоторых овощных культур и большинства лекарственных растений, позволяет активировать все физиологические процессы в растениях, запустить дополнительный синтез терпенов и белков.

На рис. 8 показано, как в спектр света был добавлен фиолетовый свет (380 нм), активно влияющий на процессы фотосинтеза, а в биологии человека – на синтез родопсина, удлинение оптической оси глаза и истончение сосудистой оболочки. К сожалению, этот зарубежный опыт по заполнению провала 480 и 380 нм не заинтересовал российских изготовителей светодиодов, не учитывающих эти рекомендации. Отечественные светотехники не учитывают влияния спектра света на зрительный анализатор человека, не включают в нормативные документы соответствующие требования к спектру света, а концентрируются лишь на энергетической оптимизации спектра и увеличении объёмов продукции. При применении в коровниках светодиодных светильников синего света повышаются надой молока, а его качество и польза падают из-за уменьшения в нём триптофана и мелатонина, что обусловлено подавлением работы шишковидной железы у коровы при воздействии синего света.

Итак, в квазисолнечной светодиодной световой среде, «инкубаторах миопии», будут находиться более 10 млн. городских и сельских школьников России, что создаёт серьёзные предпосылки развития миопии у подрастающего поколения.

Как показывает прогноз Росстата, население нашей страны в ближайшей перспективе будет уменьшаться, причём более поздний прогноз (2019 г.) демонстрирует худшие показатели (рис. 10, см. на вклейке). Поэтому сохранение здоровья нынешних школьников следует рассматривать как важнейшую стратегическую задачу для поддержания устойчивой экономики и обеспечения национального суверенитета.

По мнению врачей-офтальмологов, миопия продолжает оставаться серьёзной проблемой общественного здравоохранения в связи с неуклонным ростом распространённости этой патологии и наличием осложнений, ведущих к потере зрения. Приобретённая миопия прогрессирует под влиянием многих факторов, среди которых основными являются длительная работа в условиях значительного напряжения зрительного анализатора (близкое расстояние, мелкие детали) и малоподвижный образ жизни, что неуклонно ведёт к ухудшению зрения. Отмечается тенденция к росту распространённости миопии среди молодёжи [22], что во многом может быть обусловлено расширением использования компьютерных технологий. Так, выявлен высокий уровень распространённости миопии среди студентов (в равной степени и юношей, и девушек) Казанского ГМУ. В большинстве случаев миопия развивалась у них до поступления в вуз, в школьном возрасте, что подтверждает необходимость профилактической работы не только среди студентов, но и в школах. При этом в Казани были выполнены исследования по оценке влияния различных светодиодных



Рис. 11. Число случаев и процентное соотношение миопии в мире между 2000 и 2050 гг. [27]. *Перевод на русский язык, тех. обработка – Редакция.*

Fig. 11. The number of cases and the percentage of myopia in the World between 2000 and 2050 [27]. *Translation into Russian, tech. editing is the Editorial Board.*

светильников на организм человека (работоспособность и психоэмоциональное состояние). Работа проводилась на базе ФГУБОУ ВПО «Казанский государственный энергетический университет» на кафедре «Светотехника и медико-биологическая электроника» при участии заказчика компании «Световые технологии» – основного поставщика школьного светодиодного освещения. Главный внештатный офтальмолог Минздрава России, директор НМИЦ глазных болезней им. Гельмгольца академик РАН Владимир Нероев отмечал, что близорукостью страдает каждый третий-четвёртый взрослый житель России. При этом в нашей стране распространённость близорукости в младших классах школы составляет 6–8%, а к окончанию школы – почти 50%. Причина заключается в том, что зрительная нагрузка школьника сопоставима со зрительной нагрузкой взрослого человека [23]. По данным совместного исследования МНИИ глазных болезней им. Гельмгольца, МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Фёдорова и Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета, число близоруких учеников первого класса в среднем составило 2,4%. В пятом классе близорукость встречалась уже в восемь раз чаще – у 19,7% школьников, а к 11-му классу удвоилась, то есть страдали ею в среднем 38,6% учащихся. Разница в частоте распространённости миопии связана также со сложностью школьных программ: выявлено, что уровень близорукости у детей, обучающихся в гимназиях и лицеях, существенно выше, чем в обычных образовательных школах. Например, в обычных общеобразовательных школах число близоруких учеников 11-х классов составило 30,9%, а в гимназиях и лицеях с усложнённой программой – 50,7% [24]. Это объяснимо, поскольку школьники обычных образовательных учебных заведений в связи с меньшей учебной нагрузкой чаще бывают на улице и на открытых спортивных площадках в условиях солнечного света.

Как тотальная близорукость влияет на образ жизни современного человека, почему ещё 50–100 лет назад люди были более зоркими? Интересный ответ на этот вопрос предлагает Е.А. Дорошева, которая считает, что близорукость является одной из наиболее распространённых болезней современности, фило- и онтогенетически тесно связанной с системой школьного обучения. На основе обзора теоретических и экспериментальных исследований она рассмотрела возможные механизмы изменений в работе зрительного анализатора, являющиеся адаптацией к социокультурным условиям и

приводящие к возникновению миопии, описала взаимосвязь физиологических и поведенческих факторов, приводящих, вероятно, к снижению зрения. Выдвинула предположение о вкладе в формирование близорукости перестройки работы зрительного анализатора, связанной с селекцией информации в соответствии с предлагаемыми в социальной среде моделями; со снижением собственной поисковой активности при усилении близорукости; с усилением функционирования систем внутренней обработки информации и снижением систем восприятия и реализации действий [25].

12 апреля 2023 г. на площадке Московской ТПП состоялось заседание круглого стола «Современные источники света: их влияние на зрение человека. Применение уличных и парковых светильников в городских парках и общественных пространствах. Проблемы и пути решения», организованного Гильдией организаций энергетического комплекса при МТПП под председательством депутата Госдумы ФС РФ Рашида Артикова. В докладе В. Тарбаевой «Влияние искусственного освещения на зрение и здоровье человека и животных» было отмечено, что значительное снижение остроты зрения у огромной массы людей, в том числе у молодого поколения – школьников и студентов, стало серьёзной проблемой нашего века. ВОЗ бьёт тревогу: если не принять срочных мер, то к 2030 г. на планете будет 75 млн слепых. Чем больше нагрузка на глаза, а то, что она повышается, бесспорно, тем стремительнее рост глазных болезней, в том числе миопии и тех, что ведут к слепоте [26].

Согласно прогнозу Brien Holden Vision Institute, распространённость приобретённой миопии к 2050 г. достигнет 5 млрд человек (рис. 11). По мнению врачей-офтальмологов, «пандемия близорукости» грядёт на фоне тотальной компьютеризации и массового внедрения энергосберегающего освещения. Такие источники световой нагрузки на глаза имеют избыточную дозу синего света в спектре. Если человек находится вечером или ранним утром под действием коротковолнового холодного белого света, то выработка мелатонина резко замедляется. Это негативно сказывается на здоровье, поскольку данный гормон влияет на многие функции организма. Хорошо известно, что у белых светодиодных (СД) ламп имеется выраженная полоса излучения в синеголубом диапазоне с длиной волны около 450 нм, что оказывает влияние как на зрение, так и на механизм биологических часов живых организмов. Следует использовать светильники с СД тёплого белого света, спектрально аналогичные лампам накаливания с цветовой температурой около 3000 К, в которых должен быть рассеиватель, обеспечивающий равномерное распределение яркости по выходному отверстию.

Директор по развитию ГК «ЦЕРС» М. Реунов рассмотрел экосистему с точки зрения влияния света на животных и растения (презентация «Свет как новый критерий естественного отбора») [26]. Автор отмечает, что, по данным ВОЗ, примерно 290 млрд человек во всём мире страдают от близорукости (без учёта стран, где подобная статистика не ведётся). В нашей стране организованы профосмотры, диспансеризации, проверки режимов освещения, проводится профилактика, однако при длительной нагрузке увеличивается число страдающих миопией. Врачи-офтальмологи, светотехники говорят о свете, но не говорят о спектральном составе спектра и его роли в формировании миопии. Только гигиенист, как доказал Ф.Ф. Эрисман, может увязать воздействия внешней среды и офтальмологию. В современных условиях как никогда актуальны слова знаменитого учёного: «Не каждый врач должен быть гигиенистом, но каждому врачу необходим профилактический образ мышления».

В работе [28] авторами приведены результаты измерения длины оптической оси глаза при освещении рабочего места светом от источников с различным спектральным составом.

Самая длинная оптическая ось была обнаружена у детей, которые использовали светодиодные лампы для домашней работы (рис. 12). Сравнение проводилось в трёх группах китайских школьников, использовавших соответственно светодиодные лампы (23,8 мм), лампы накаливания (23,5 мм)

и люминесцентные лампы (23,5 мм). Ученики в Китае тратят гораздо больше времени на выполнение домашних заданий по сравнению со школьниками западных стран. Авторами было высказано предположение, что типы ламп для домашней работы могут способствовать риску развития близорукости у китайских детей. В настоящее время во всём мире светодиодные лампы постепенно заменяют традиционные лампы накаливания или люминесцентные лампы. Например, правительство КНР призвало прекратить производство ламп накаливания в последние годы. Однако данных о пользе светодиодных ламп для здоровья людей всё ещё недостаточно. Проведённое исследование показало, что светодиодные лампы не могут быть хорошим выбором для профилактики близорукости у детей, хотя необходимы дополнительные усилия в этой области, чтобы выяснить биологические механизмы формирования миопии. Авторы также показали, что использование светодиодных ламп для домашней работы после школы может способствовать развитию близорукости у детей школьного возраста. Необходимы дополнительные исследования для выяснения биологических механизмов, выявленных в данном наблюдении.

В нашей стране действуют разработанные Общероссийской общественной организацией «Ассоциация врачей-офтальмологов» Клинические рекомендации*, в которых говорится, что осевая длина более 23,5 мм при гиперметропии служит надёжным предиктором миопии. Значимость негативных эффектов светодиодного освещения подтверждают исследования, представленные на рис. 13. По прогнозам, без адекватных вмешательств нынешняя эпидемия близорукости к 2050 г затронет 50% населения мира, став основной причиной необратимой слепоты.

Описание негативных механизмов воздействия синего света в спектре светодиодного освещения изложено в нашей монографии «Эволюция искусственного освещения: взгляд гигиениста» (диплом второй степени в номинации «Экология и здоровье человека» конкурса международной экологической премии ЭКОМИР, проведённой РАЕН в 2022 г.). В инициативном порядке нами была разработана технология изготовления светодиодных светильников с учётом гигиенических требований к спектру света (рис. 14, см. на вклейке).

Предложенная технология позволяет реализовать разные варианты спектров света с учётом требований к среде обитания и освещению. Подробно данный подход описан на основе сформулированных законов гигиены света в вышеупомянутой монографии, в которой сформулированы методические основы проектирования светодиодных источников света с солнцеподобным спектром излучения для детских

* Миопия. Клинические рекомендации. 2020–2021–2022 (16.02.2021). Утверждены Минздравом России. https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/109_1

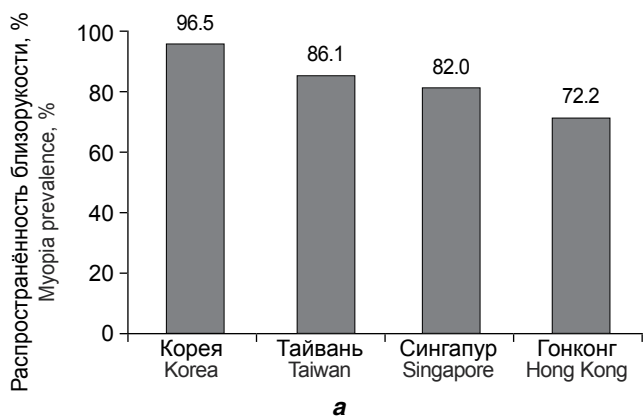


Рис. 13. Средняя распространённость близорукости: а – среди молодых людей в странах Восточной Азии в 2012–2020 гг.; б – в Сингапуре в разных возрастных группах в 1999–2001 гг. [28, 29]. Перевод на русский язык, тех. обработка – Редакция.

Fig. 13. The average prevalence of myopia: a – among young people in East Asian countries in 2012–2020 and б – in Singapore in different age groups in 1999–2001 [28, 29]. Translation into Russian, tech. editing is the Editorial Board.

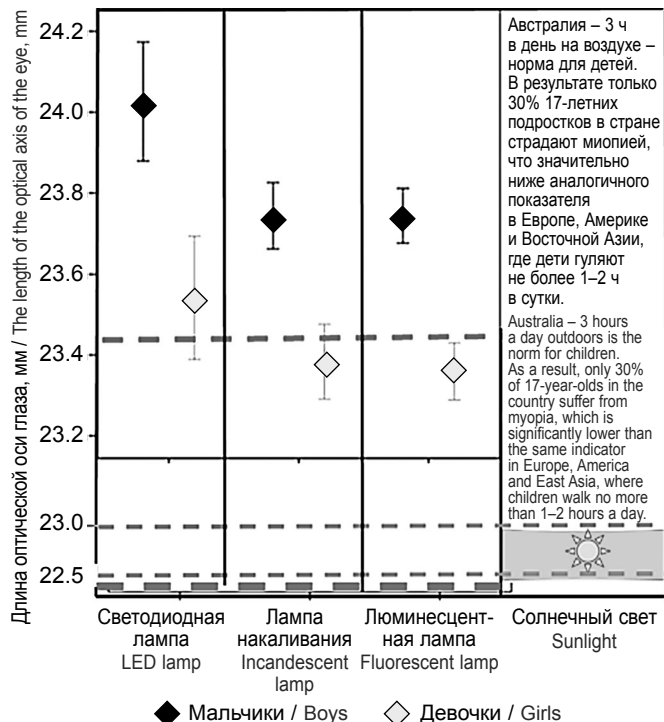
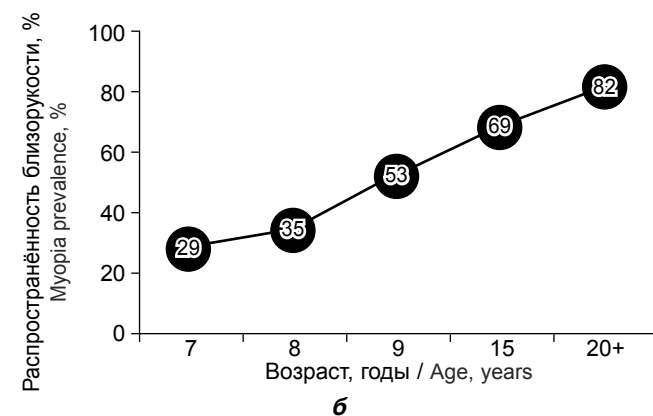


Рис. 12. Обобщённые результаты измерения оптической оси у школьников, которые занимались при освещении разными источниками света [28]. Перевод на русский язык, тех. обработка – Редакция.

Fig. 12. Generalized results of measuring the optical axis in schoolchildren who were engaged in illumination with different light sources [28]. Translation into Russian, tech. editing is the Editorial Board.

учреждений. На необходимость пересмотра нормативной базы для светодиодного освещения указывают специалисты Роспотребнадзора [30, 31].

В развитие знаменитой фразы Ф.Ф. Эрисмана: «...близорукость не есть неизбежное зло, <...> возникающее только от нецелесообразного устройства школ, и это зло было бы, конечно, устранено, если бы на устройство школ было бы более обращено внимание общества» можно добавить, что становление и развитие школьной светотехники во многом определяется российской общественностью – активно и свободно мыслящими представителями науки, светотехники и производства, преподавателями вузов, врачами-гигиенистами и всеми неравнодушными, заинтересованными



в здоровье детей людьми. Только такой консолидированный подход позволит предупредить негативное влияние искусственного освещения на подрастающее поколение.

Заключение

1. В современных условиях сохранение здоровья школьников следует рассматривать как важнейшую стратегическую задачу для поддержания в ближайшей перспективе устойчивой экономики и обеспечения национального суверенитета.

2. Развитие нового научного направления — эволюционной гигиены — позволит более глубоко изучить влияние светодиодной световой среды на зрительный анализатор, определить многообразные функции незрительных опинов, амакриновых клеток и их нейромедиаторов (ацетилхолина и дофамина) при других нарушениях рефракции глаза.

3. Офтальмологи всё чаще отмечают, что наступает эпоха массовой миопии, которая обусловлена удлинением

оптической оси глаза у детей в большей степени, чем при использовании люминесцентных ламп и ламп накаливания, что связано с отсутствием в спектре светодиодных ламп 380 нм и недостатка 480 нм.

4. Производителям светодиодов для школьных светильников необходимо учитывать рекомендации гигиенистов по корректировке спектра освещения в сторону солнцеподобного спектра излучения (заполнение провала в области 380; 480 нм, расширение спектра света от 380 до 760 нм).

5. Важно актуализировать действующие нормативные документы в части требований к спектру света, применяемого в растениеводстве и животноводстве.

6. Солнечный спектр способствует корректировке миопии у детей и уменьшению вероятности возникновения наследственной формы приобретённой миопии.

7. Рекомендуется расширить крупномасштабные углублённые генетические исследования воздействия окружающей среды на группы населения с экстремальными фенотипами и высокой семейной встречаемостью миопии.

Литература

(п.п. 6, 9–13, 17, 18, 27–29 см. References)

- R&D.CNews. Близорукость стала глобальной эпидемией угрожающего масштаба. Доступно: <https://clck.ru/39nZbY>
- GetArchive. Санкт-Петербургский Николаевский сиротский институт. Доступно: <https://garystockbridge617.getarchive.net/amp/topics/saint+petersburg+nikolaev+orphan+institute>
- Эрисман Ф.Ф. Влияние школ на происхождение близорукости. *Архив судебно-медицинской и общественной гигиены*. 1870; (3): 84–160.
- Эрисман Ф.Ф. *Избранные произведения*. М.: Медгиз; 1959.
- Электричество в школах. *Известия русского общества Всеобщая компания электричества*. 1912; (3): 14–6.
- Dreamstime. История освещения — иллюстрация. Доступно: <https://thumbs.dreamstime.com/z/история-освещения-36481903.jpg?ct=jpeg>
- Всё о зрении. Механизм развития близорукости. Доступно: <https://zreni.ru/articles/disease/1773-mehanizm-razvitiya-blizorukosti-9474-chast-1.html>
- Капцов В.А., Дейнего В.Н. Закон необходимого разнообразия и гигиена освещения. *Санитарный врач*. 2019; (12): 58–65. <https://doi.org/10.33920/med-08-1912-08> <https://elibrary.ru/whvids>
- Островский М.А. *Клиническая физиология зрения*. М.; 2002: 38–9.
- Капцов В.А., Дейнего В.Н., Уласюк В.Н. Энергетический потенциал митохондрий в условиях светодиодного освещения и риски заболевания глаз. *Анализ риска здоровью*. 2019; (2): 175–84. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.2.19> <https://elibrary.ru/qcvtdx>
- Скобарева З.А., Текшева Л.М. Биологические аспекты гигиенической оценки естественного и искусственного освещения. *Светотехника*. 2003; (4): 7–13.
- Чубайс А.Б. Неплатежи в российской экономике 1990-х: непредвиденный институт. *Вопросы экономики*. 2023; (7): 142–58. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2023-7-142-158> <https://elibrary.ru/fyeeai>
- Андреев А. В море света объявлен «синий уровень опасности». *Полупроводниковая светотехника*. 2017; 4(48): 62–5. <https://elibrary.ru/zhrxtx>
- Плотников Д.Ю., Аглиуллина С.Т., Ашрятова Л.Ш., Панкратова С.А., Лушанина К.А., Закиров И.К. и др. Анализ распространённости миопии среди студентов медицинского вуза. *Медицина*. 2023; 11(1): 25–34. <https://doi.org/10.29234/2308-9113-2023-11-1-25-34> <https://elibrary.ru/cfivdi>
- Министерство здравоохранения Российской Федерации. Главный внештатный офтальмолог Минздрава России, директор НМИЦ глазных болезней имени Гельмгольца, академик РАН Владимир Нероев: Близорукостью страдает каждый 3–4 взрослый житель России. 2022. <https://clck.ru/39nZX4>
- Деловой Петербург. Елекоева Т. До российских школ добралась пандемия близорукости; 2021. Доступно: https://dp.ru/a/2021/09/24/Pandemija_blizorukosti?ysclid=lk0opg65vf33804871
- Дорошева Е.А. Эволюционный подход к вопросам формирования близорукости: перестройка зрительного анализатора как адаптация к социокультурным условиям. *Экспериментальная психология*. 2014; 7(3): 83–96. <https://elibrary.ru/taknex>
- ГК ЦЕРС. Гильдия организаций энергетического комплекса при МТПП провела конференцию. Доступно: <https://clck.ru/39nZey>
- Сладкова Ю.Н., Крийт В.Е., Волчкова О.В., Скляр Д.Н., Плеханов В.П. Освещение в жилых и общественных зданиях: основные проблемы и совершенствование методов управления. *Здоровье населения и среда обитания — ЗНУСО*. 2022; 30(5): 32–40. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-5-32-40> <https://elibrary.ru/woibys>
- Крийт В.Е., Сладкова Ю.Н. Искусственное освещение. Проблемы нормирования в жилых и общественных зданиях. В кн.: Сайганов С.А., ред. *Профилактическая медицина — 2018: сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Часть 1*. СПб.; 2018: 296–302. <https://elibrary.ru/idmtyp>

References

- R&D.CNews. Myopia has become a global epidemic of alarming proportions. Available at: <https://clck.ru/39nZbY> (in Russian)
- GetArchive. Saint Petersburg Nikolaev Orphan Institute. Available at: <https://garystockbridge617.getarchive.net/amp/topics/saint+petersburg+nikolaev+orphan+institute> (in Russian)
- Erisman F.F. The influence of schools on the origin of myopia. *Arkhiv sudebno-meditinskoy i obshchestvennoy gigieny*. 1870; (3): 84–160. (in Russian)
- Erisman F.F. *Selected Works [Izbrannye proizvedeniya]*. Moscow: Medgiz; 1959. (in Russian)
- Electricity in schools. *Izvestiya russkogo obshchestva Vseobshchaya kompaniya elektrichstva*. 1912; (3): 14–6. (in Russian)
- Shan M., Dong Y., Chen J., Su Q., Wan Y. Global tendency and frontiers of research on myopia from 1900 to 2020: a bibliometrics analysis. *Front. Public Health*. 2022; 10: 846601. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.846601>
- Dreamstime. History of lighting — illustration. Available at: <https://thumbs.dreamstime.com/z/история-освещения-36481903.jpg?ct=jpeg>
- All about vision. The mechanism of myopia development. Available at: <https://zreni.ru/articles/disease/1773-mehanizm-razvitiya-blizorukosti-9474-chast-1.html> (in Russian)
- Holden B.A., Fricke T.R., Wilson D.A., Jong M., Naidoo K.S., Sankaridurg P., et al. Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology*. 2016; 123(5): 1036–42. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2016.01.006>
- Morgan I.G., Wu P.C., Ostrin L.A., Tideman J.W.L., Yam J.C., Lan W., et al. IMI risk factors for myopia. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci*. 2021; 62(5): 3. <https://doi.org/10.1167/iovs.62.5.3>
- Zylbermann R., Landau D., Berson D. The influence of study habits on myopia in Jewish teenagers. *J. Pediatr. Ophthalmol. Strabismus*. 1993; 30(5): 319–22. <https://doi.org/10.3928/0191-3913-19930901-12>
- Jonas J.B., Xu L., Wei W.B., Wang Y.X., Jiang W.J., Bi H.S., et al. Myopia in China: a population-based cross-sectional, histological, and experimental study. *Lancet*. 2016; 388: S20. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)31947-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)31947-X)
- Landis E.G., Chrenek M.A., Chakraborty R., Strickland R., Bergen M., Yang V., et al. Increased endogenous dopamine prevents myopia in mice. *Exp. Eye Res*. 2020; 193: 107956. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2020.107956>
- Kaptsov V.A., Deynego V.N. The law of requisite variety and lighting hygiene. *Sanitarnyy vrach*. 2019; (12): 58–65. <https://doi.org/10.33920/med-08-1912-08> <https://elibrary.ru/whvids> (in Russian)
- Ostrovskiy M.A. *Clinical Physiology of Vision [Klinicheskaya fiziologiya zreniya]*. Moscow; 2002: 38–9. (in Russian)
- Kaptsov V.A., Deynego V.N., Ulasjuk V.N. Energy potential of mitochondria under LED lighting and risks of eyes diseases. *Analiz riska zdorov'yu*. 2019; (2): 174–83. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2019.2.19> <https://elibrary.ru/evpmyl>
- Vanderstraeten J., Gailly P., Malkemper E.P. Light entrainment of retinal biorhythms: cryptochrome 2 as candidate photoreceptor in mammals. *Cell Mol. Life Sci*. 2020; 77(5): 875–84. <https://doi.org/10.1007/s00018-020-03463-5>

18. Muralidharan A.R., Lança C., Biswas S., Barathi V.A., Wan Yu Shermaine L., Seang-Mei S., et al. Light and myopia: from epidemiological studies to neurobiological mechanisms. *Ther. Adv. Ophthalmol.* 2021; 13: 25158414211059246. <https://doi.org/10.1177/25158414211059246>
19. Skobareva Z.A., Teksheva L.M. Biological aspects of hygienic assessment of natural and artificial lighting. *Svetotekhnika.* 2003; (4): 7–13. (in Russian)
20. Chubays A.B. Non-payments in the Russian economy in the 1990s: an unforeseen institution. *Voprosy ekonomiki.* 2023; (7): 142–58. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2023-7-142-158> <https://elibrary.ru/fyecai> (in Russian)
21. Andreev A. A “blue danger level” has been declared in the sea of light. *Poluprovodnikovaya svetotekhnika.* 2017; 4(48): 62–5. <https://elibrary.ru/zhrtnx> (in Russian)
22. Plotnikov D.Yu., Agliullina S.T., Ashryatova L.Sh., Pankratova S.A., Lushanina K.A., Zakirov I.K., et al. Analysis of the prevalence of myopia in medical students. *Meditsina.* 2023; 1(11): 25–34. <https://doi.org/10.29234/2308-9113-2023-11-1-25-34> <https://elibrary.ru/cfivdi> (in Russian)
23. The Ministry of Health of the Russian Federation. Chief freelance ophthalmologist of the Ministry of Health of the Russian Federation, Director of the NMIC of Eye Diseases named after Helmholtz, Academician of the Russian Academy of Sciences Vladimir Neroyev: Every 3–4 adult in Russia suffers from myopia; 2022. Available at: <https://clck.ru/39nZX4> (in Russian)
24. Delovoy Peterburg. Elekoeva T. The myopia pandemic has reached Russian schools. Available at: https://dp.ru/a/2021/09/24/Pandemija_blizorukosti?ysc_lid=lk0opg65vf33804871 (in Russian)
25. Dorosheva E.A. Evolutionary approach to the formation of myopia: the restructuring of the visual analyzer as an adaptation to the social and cultural conditions. *Eksperimental'naya psikhologiya.* 2014; 7(3): 83–96. <https://elibrary.ru/taknex> (in Russian)
26. ZERS Group. The Guild of Energy Complex Organizations at the MTPP held a conference. Available at: <https://clck.ru/39nZey> (in Russian)
27. Myopia epidemic growing among kids, causes still uncertain. <https://nerdist.com/article/myopia-epidemic-growing-among-kids-causes-still-uncertain>
28. Pan C.W., Wu R.K., Liu H., Li J., Zhong H. Types of lamp for homework and myopia among Chinese school-aged children. *Ophthalmic Epidemiol.* 2018; 25(3): 250–6. <https://doi.org/10.1080/09286586.2017.1420204>
29. Muralidharan A.R., Lança C.C., Biswas S., Barathi V.A., Shermaine L.W.Yu., Seang-Mei S., et al. Light and myopia: from epidemiological studies to neurobiological mechanisms. *Therapeutic Advances in Ophthalmology.* 2021; 13(1): 1–45. <https://doi.org/10.1177/25158414211059246>
30. Sladkova Yu.N., Kriyt V.E., Volchkova O.V., Sklyar D.N., Plekhanov V. Lighting in residential and public buildings: major challenges and improvement of control methods. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO.* 2022; 30(5): 32–40. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-5-32-40> <https://elibrary.ru/woibys>
31. Kriyt V.E., Sladkova Yu.N. Artificial lighting. The problems of rationing in residential and public buildings. In: Sayganov S.A., ed. *Preventive Medicine – 2018: Collection of Scientific Papers of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation. Part 1 [Profilakticheskaya meditsina – 2018: sbornik nauchnykh trudov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Chast' I]*. St. Petersburg; 2018: 296–302. <https://elibrary.ru/idmtyt> (in Russian)

Информация об авторах:

Капцов Валерий Александрович – доктор мед. наук, профессор, чл.-корр. РАН, зав. отд. ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт гигиены транспорта» Роспотребнадзора, 125438, Москва, Россия. E-mail: kapcovva39@mail.ru

Дейнего Виталий Николаевич – старший науч. сотр. ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт гигиены транспорта» Роспотребнадзора, 125438, Москва, Россия. E-mail: vn-led@bk.ru

Information about the authors:

Kaptsov Valery Alexandrovich – Doctor of Medical Sciences, Professor, Corresponding Member of the RAS, Head of Department of All-Russian Scientific Research Institute of Transport Hygiene, 125438, Moscow, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-3130-2592> E-mail: kapcovva39@mail.ru

Deinego Vitaly Nikolaevich – Senior Researcher of All-Russian Scientific Research Institute of Transport Hygiene, 125438, Moscow, Russia. E-mail: vn-led@bk.ru

К статье В.А. Капцова и соавт.
To the article by Valery A. Kaptsov et al.

Взгляд гигиениста на спектр света / The hygienist's view of the spectrum of light

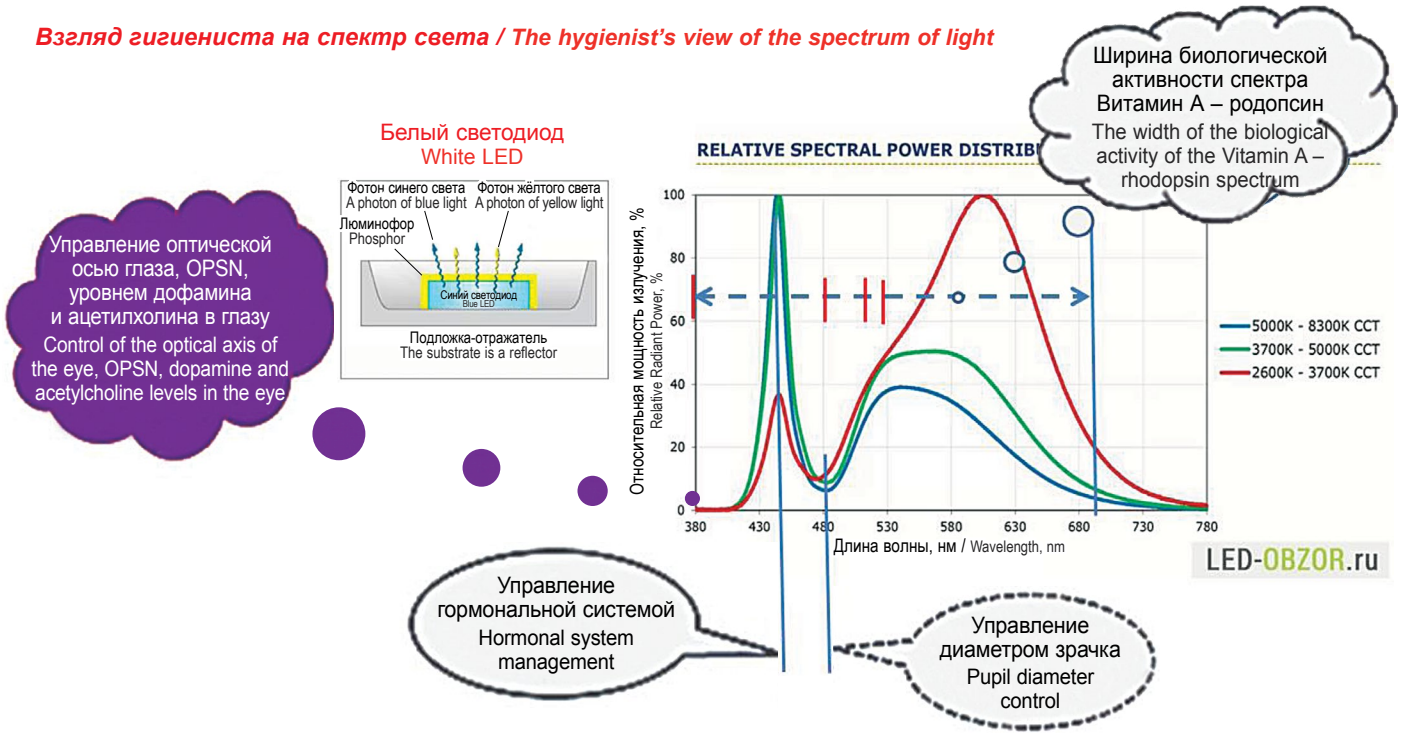


Рис. 5. Биологические механизмы светодиодного спектра.

Fig. 5. Biological Mechanisms of the LED Spectrum.

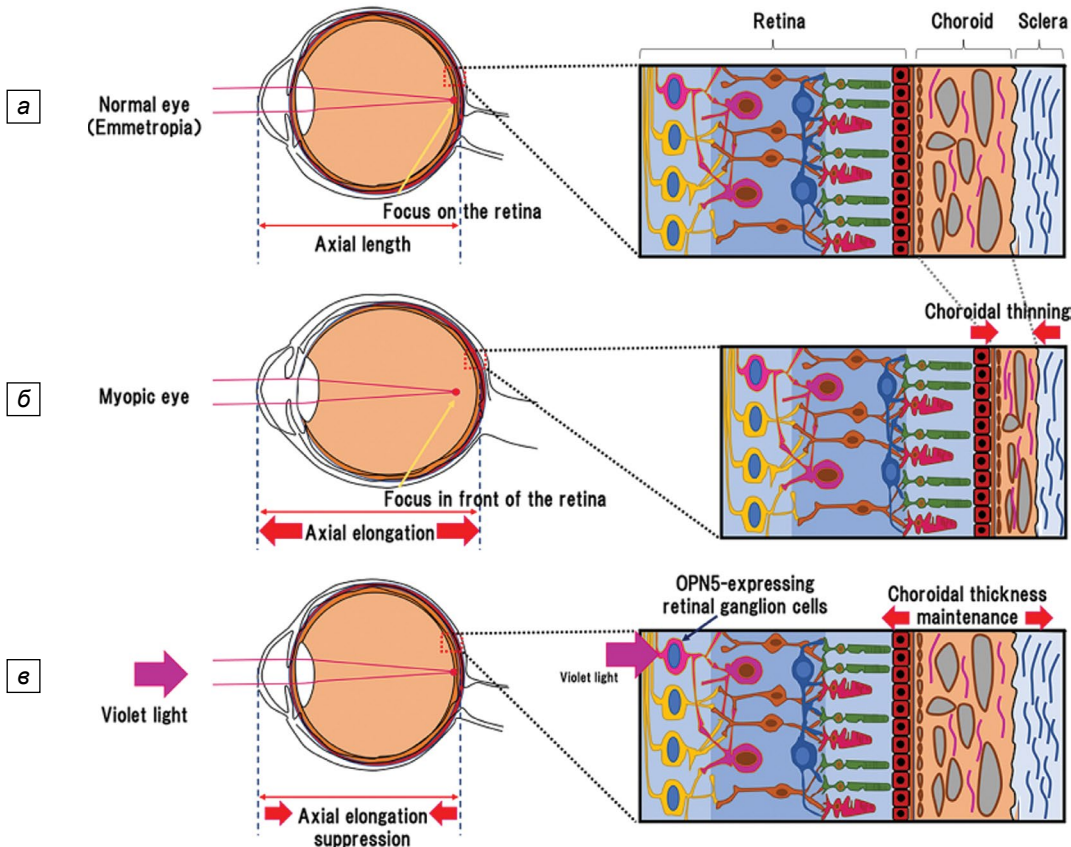


Рис. 6. Взаимодействие фиолетового света с фоторецепторным белком OPN5.

А – нормальный глаз; Б – близорукий глаз с характерным удлинением между роговицей и сетчаткой и истончением сосудистой оболочки; В – воздействие фиолетового света, подавляющего удлинение и истончение сосудистой оболочки.

Fig. 6. Interaction of violet colour with OPN5 protein photoreceptor. A - normal eye; B is a myopic eye with characteristic elongation between the cornea and retina and thinning of the choroid; B — Exposure to violet light inhibiting elongation and thinning of the choroid.

К статье В.А. Капцова и соавт.
To the article by Valery A. Kaptsov et al.

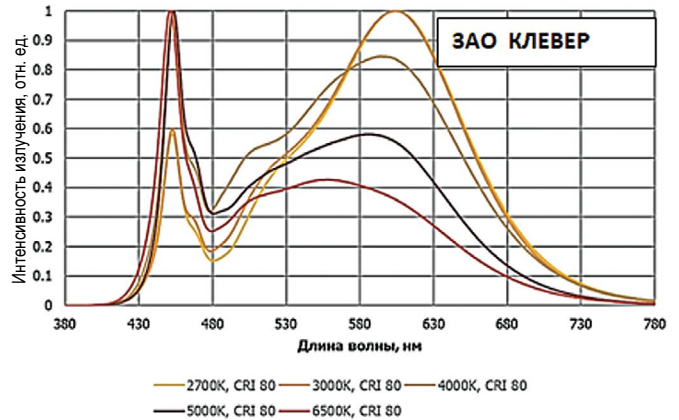
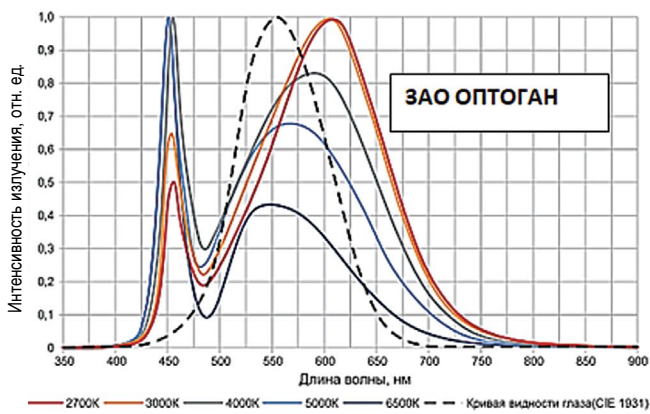


Рис. 7. Спектры излучения светодиодных ламп ЗАО «Оптоган» и завода «Клевер».
Fig. 7. Emission spectra of LED lamps from Optogan JSC and the Klever plant.

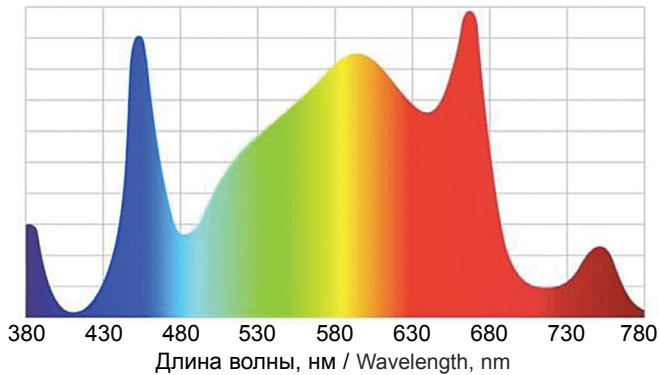


Рис. 8. Спектр светильника Flasher 2 FL 100-IRUV.
Fig. 8. The spectrum of the lamp Flasher 2 FL 100-IRUV.

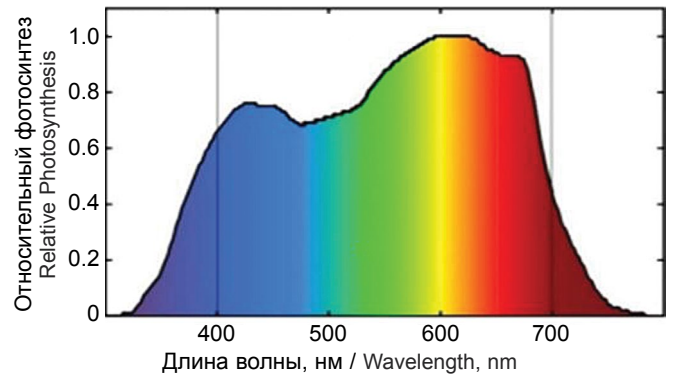


Рис. 9. Спектральные эффекты фотосинтеза по данным трёх исследований McCree (1972 г.).
Fig. 9. Spectral effects of photosynthesis according to three McCree studies (1972).

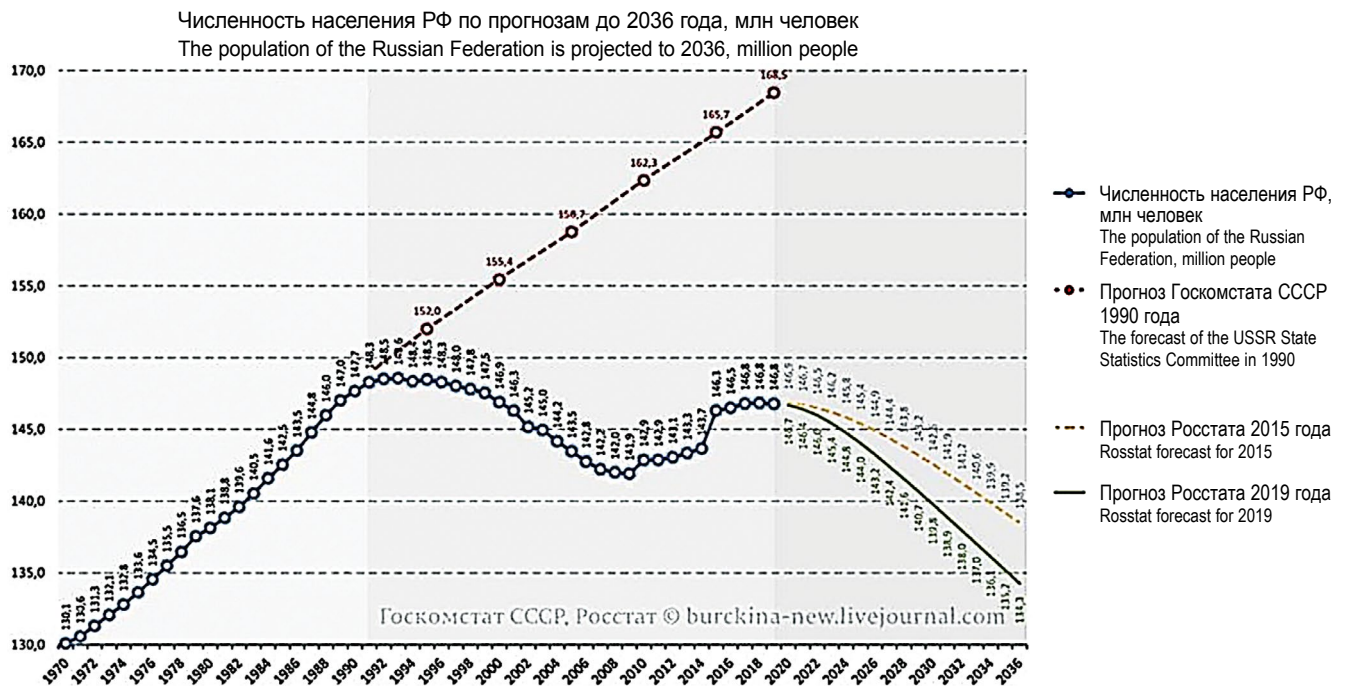


Рис. 10. Прогноз численности населения Российской Федерации.
Fig. 10. The forecast of the population size in the Russian Federation.

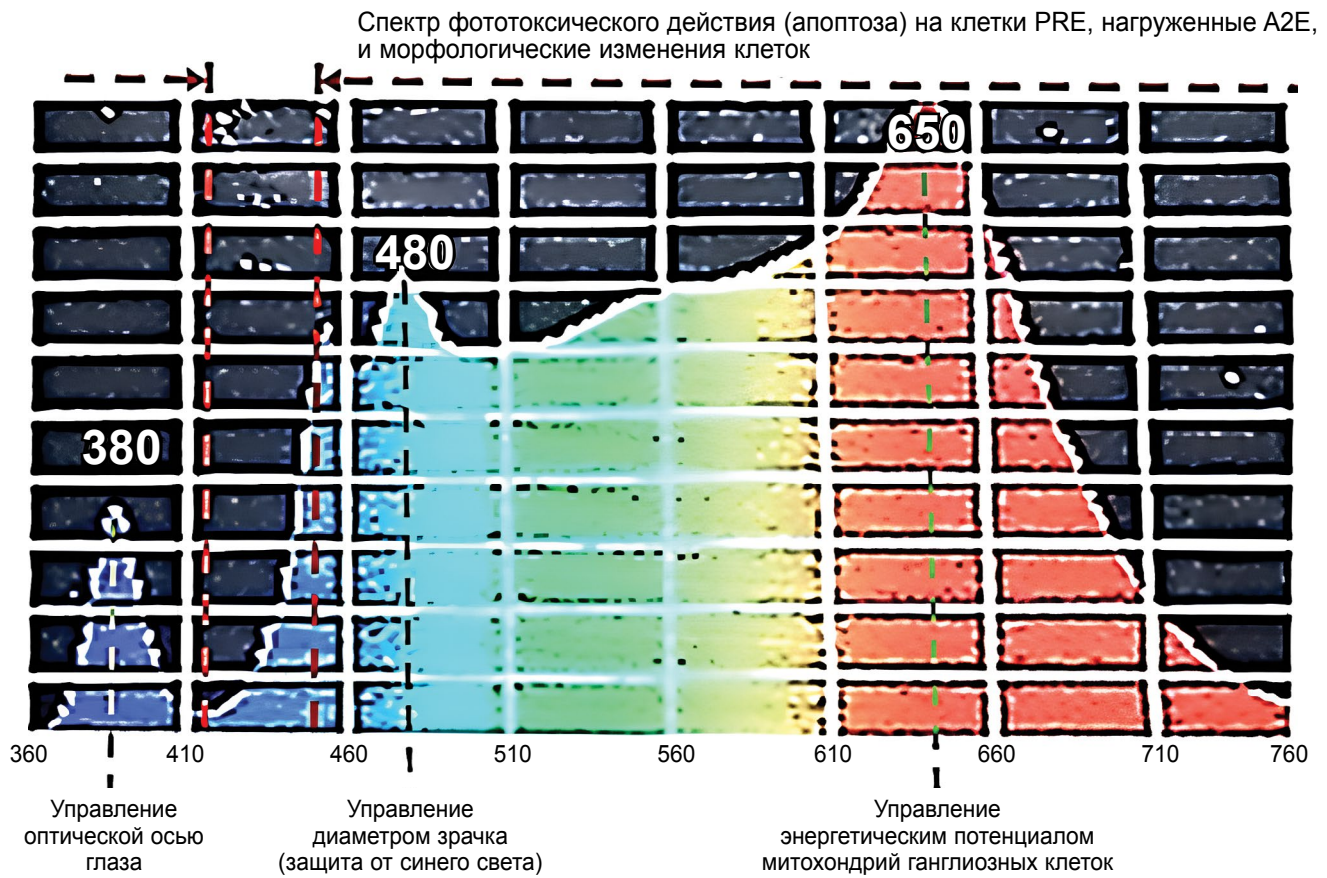


Рис. 14. Пример реализации оптимального спектра.
Fig. 14. An example of the implementation of the optimal spectrum.