

Гигиена окружающей среды и населенных мест

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2017

УДК 613.5:628.93

Капцов В.А.¹, Дейнего В.Н.², Сощин Н.П.³, Уласюк В.Н.³

ГИГИЕНА И СПЕКТРАЛЬНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПАТТЕРН СВЕТА

¹ФГУП ВНИИ железнодорожной гигиены Роспотребнадзора, 125438, Москва;²ООО «Новые энергетические технологии», 143025, Сколково;³ЗАО «ЭЛТАН», 141190, Фрязино

Рассмотрены методические основы многокритериального синтеза спектрально-энергетического паттерна для оценки избыточной доли синего и красного света в спектре искусственных энергосберегающих источников. В основу этой методологии положен гигиенический подход к анализу спектра солнечного и светодиодного света. Учитывая «фотобиологический парадокс зрения» по М.А. Островскому, условия «меланопсинового креста» и механизмы неблагоприятного воздействия света на зрение, все спектрально-энергетические характеристики солнечного света разделили на подпространства. Граница между ними и стала спектрально-энергетическим паттерном для оценки безопасности воздействия искусственных источников на глаза и здоровье человека по критериям избыточной дозы синего или красного света. На двух примерах показана эффективность и наглядность этой оценки с помощью спектрально-энергетического паттерна света.

Ключевые слова: свет; спектр; избыточная доза синего света; светодиод; паттерн.

Для цитирования: Капцов В.А., Дейнего В.Н., Сощин Н.П., Уласюк В.Н. Гигиена и спектрально-энергетический паттерн света. Гигиена и санитария. 2017; 96(2): 101-106. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-2-101-106>

Kaptsov V.A.¹, Deynego V.N.², Soshchin N.P.³, Ulasyuk V.N.³

HYGIENE AND THE SPECTRAL ENERGETIC LIGHT PATTERN

¹All-Russian Research Institute of Railway Hygiene of the Federal Service for the Oversight of Consumer Protection and Welfare, Moscow, 125438, Russian Federation;²Ltd "New energy technologies", settlement Skolkovo, 143025, Russian Federation;³ZAO Company "ELTAN", Fryazino, 141190, Russian Federation

There are considered methodological bases of multicriteria synthesis of a spectral energetic pattern for the evaluation of the excessive share of blue and red light in the spectrum of artificial energy sources. The basis of this methodology is relied upon on the hygienic approach to the spectrum analysis of solar and led light. Relying upon on "photobiological paradox of vision" according to M. A. Ostrovsky, conditions of "melanopsin cross" and mechanisms of adverse impact of light on vision, all the spectral-energy characteristics of solar light were divided into subspaces. The border between them became a spectral energy pattern for the evaluation of artificial sources on the security of their impact on eye and human health according to criteria of the excessive dose of blue or red light. On two examples there was shown the effectiveness and clarity of this estimation with the using of the spectral energetic pattern of light.

Key words: light; spectrum; excessive dose of blue light; led; pattern.

For citation: Kaptsov V.A., Deynego V.N., Soshchin N.P., Ulasyuk V.N. Hygiene and the spectral energetic light pattern. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2017; 96(2): 101-106. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-2-101-106>

For correspondence: Valery A. Kaptsov, MD, PhD, DSci., professor, member-correspondent of RAS, Deputy Director for scientific work of the All-Russian Research Institute of Railway Hygiene of the Federal Service for the Oversight of Consumer Protection and Welfare, Moscow, 125438, Russian Federation. E-mail: kapcovva39@mail.ru

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

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: 11 February 2016

Accepted: 13 May 2016

*Будь не солнечен наш глаз,
Кто бы солнцем любовался?
Гете*

Все живое на земле существует благодаря солнечному свету. Воздействуя на человека различными цветами солнечного спектра, можно излечить его от болезней, сбалансировать работу всех органов и систем организма. Практически все болезни дают о себе знать, когда чело-

Для корреспонденции: Капцов Валерий Александрович, д-р мед. наук, проф., член-корр. РАН, зам. директора по научной работе ФГУП ВНИИ железнодорожной гигиены Роспотребнадзора, 125438, Москва. E-mail: kapcovva39@mail.ru

век недополучает какую-либо часть солнечного спектра. Солнце – это и пища, и питье для глаз. Недаром еще в Библии говорилось: «Сладок свет и приятно для глаз видеть солнце» (Екклесиаст, 11:7). «Глаз нельзя понять, не зная Солнца. Вот почему глаз – солнечен, по словам поэта» – такими словами заканчивает Сергей Иванович Вавилов свою замечательную книгу «Глаз и Солнце» [1].

Определение условий и параметров солнечного света, когда он «сладок и приятен для глаз», являясь важной методической задачей, позволит синтезировать спектраль-

но-энергетический паттерн для оценки безопасности искусственных источников света по наличию в их спектре избыточной дозы синего и красного света.

Спектр солнечного света, случайный по сочетанию значений параметров, но детерминированный по составу, порождает в органах человека множество биохимических процессов, вызывающих различные негативные и позитивные проявления, которые в ближайшем или отдаленном будущем могут привести к спектру болезней или к оздоровлению организма. Такая модель «солнечный свет и здоровье человека» хорошо описывается математической теорией хаоса. Базовым понятием этой теории является понятие начальных условий. Чувствительность к начальным условиям более известна в теории хаоса как «эффект бабочки». Термин возник в связи со статьей «Предсказание: взмах крыльев бабочки в Бразилии вызовет торнадо в штате Техас», которую Эдвард Лоренц в 1972 г. вручил американской «Ассоциации для продвижения науки» в Вашингтоне. Взмах крыльев бабочки символизирует мелкие изменения в первоначальном состоянии системы, которые вызывают цепочку событий, ведущих к крупномасштабным изменениям. В настоящее время теория хаоса находит широкое применение в медицине [2–4] для прогнозирования состояния, например, работы сердца [5], а также в офтальмологии [6]. В этих приложениях теории хаоса используются такие понятия, как бифуркация, фрактал, аттрактор, фазовый портрет состояния сложных систем. Вид классического аттрактора приведен на рис. 1 (на 2-й стр. обложки) и назван в честь его открывателя Эдварда Нортона Лоренца.

По форме этот фазовый портрет состоит из двух взаимосвязанных спиралей, которые напоминают крылья бабочки.

В работе [7] мы составили аттрактор человека с применением суточного и годового паттерна выработки мелатонина.

Мелатониновый аттрактор человека состоит из двух связанных спиралей [7]. Математическая модель этого аттрактора позволяет по прогнозируемому уровню мелатонина оценивать состояние здоровья на ближайшую и отдаленную перспективу в зависимости от уровня и спектра освещенности и других факторов, влияющих на выработку мелатонина.

В общественном здравоохранении именно гигиена занимается вопросами профилактики болезней путем формирования оптимальных гигиенических условий среды обитания человека. С математической точки зрения это и есть начальные условия в теории хаоса. Формирование начальных условий (световой среды обитания) является гигиенической проблемой при решении задач математического моделирования в области прогнозирования индивидуального и популяционного здоровья. Учитывая сказанное выше, на спектральном пространстве солнечного света можно выделить области визуальных и не визуальных эффектов воздействия солнечного спектра и лампы накаливания (рис. 2 на 2-й стр. обложки).

Визуальные эффекты восприятия солнечного спектра характеризуются кривой видности.

Не визуальные эффекты характеризуются областями 1–4.

От параметров солнечного света, лежащих в областях 2 и 4, не нужно применять гигиенические меры защиты, так как в них находятся спектрально энергетические характеристики витального фактора (животворящего света).

От параметров солнечного света, лежащих в областях 1 и 3, нужно защищаться гигиеническими мерами, так как в

них находятся спектрально энергетические характеристики избыточных доз синего или красного света.

Контур кривой видности и областей не визуального воздействия света напоминает контур бабочки, раскраска которой похожа на раскраску бабочки переливницы тополевой (рис. 3 на 2-й стр. обложки).

Бабочка Илия имеет перелив в спектре окраса от синих крыльев к темно-красным, что очень символично.

К формированию начальных условий следует подходить не как к малым изменениям их величины, а как к изменению формы спектрально-энергетической характеристики воздействующего фактора (света). Исходя из этого и по аналогии с «эффектом бабочки» в теории хаоса рассматривается понятие эффект «бабочки Илия».

Эффект «бабочки Илия» учитывает, как изменения формы спектрально-энергетической характеристики воздействующего фактора (света) влияют на прогнозируемые состояния системы спектр света – глаз – здоровье человека.

Это позволит при математическом моделировании с применением мелатонинового аттрактора человека (в рамках теории хаоса) учитывать, как спектрально-энергетические характеристики искусственных источников света могут влиять на состояние здоровья человека как в ближайшем, так и в отдаленном будущем.

С позиции эффекта «бабочки Илия» был отработан методический подход для оценки уровня избыточной доли света в спектрально-энергетической характеристике искусственных источников.

В работе [8] приведена методика определения избыточной дозы синего в спектре светодиодного света при цветовой температуре 4000°K [8], но она нуждается в корректировке в части уточнения спектрально-энергетического паттерна (СЭП) света для проведения сравнительной оценки по всей ширине спектра от 380 до 700 нм.

В настоящем исследовании мы опирались на высказывания основоположника гигиенической науки Ф.Ф. Эрисмана и «фотобиологический парадокс зрения» М.А. Островского.

В 1887 г. Ф.Ф. Эрисман отмечал, что «неминуемой точкой отправления при всех гигиенических исследованиях является стремление найти те законы, которые управляют здоровьем человека, и исследовать как при помощи эксперимента, так и путем *статистических* наблюдений все те общественные и частные явления, понимание которых непосредственно может содействовать открытию этих законов, так что все явления окружающей среды интересуют гигиенистов лишь настолько, насколько они могут отражаться на здоровье человека». С точки зрения современной теории сложных систем это высказывание Ф.Ф. Эрисмана является предпосылкой внедрения теории хаоса в практику гигиены.

По мнению акад. М.А. Островского, фотобиологический парадокс зрения состоит в том, что свет, являясь носителем зрительной информации, одновременно выступает как фактор риска [9, 10]. Сочетание света и кислорода – необходимое условие для осуществления нормального фоторецепторного процесса, но в то же время это классические условия, необходимые и достаточные для возникновения и развития в структурах глаза деструктивных фотохимических реакций по механизму свободнорадикального окисления. При этом д-ром биол. наук П.П. Заком показано следующее: чем выше избыточная доза синего света, тем выше риски поражения ею зрения. В проведенных экспериментальных исследованиях воздействию избыточной дозы синего подвергались

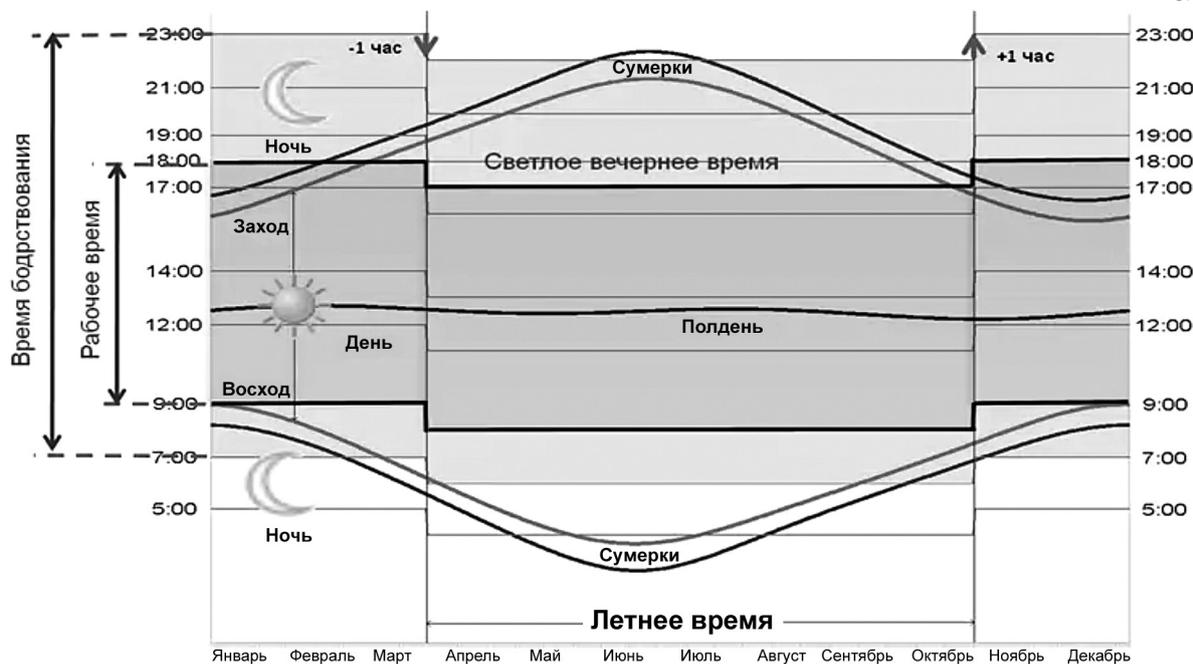


Рис. 5. Распределение светлого и темного времени суток в Москве в течение календарного года (с учетом сумерек).

перепела, у которых строение глаза похоже на строение глаза человека. Уже при избыточной дозе синего света ($2 \cdot 10^{-3}$ Вт/см²) в глазах перепелов наблюдались изменения:

- в сосудистой оболочке глаза [11],
- фотоиндуцированные изменения субклеточных структур ретинального пигментного эпителия [12].

Было показано, что умеренное повседневное синее светодиодное освещение молодых перепелов вызывает 1,5-кратную перегрузку клеточного метаболизма сетчатки, приводящую к ее ускоренному старению и к снижению функциональной активности структур гематоретинального барьера.

В работах [13, 14] приведены результаты негативного влияния избыточной дозы красного света на формирование склеры глаза и оптической оси глаза.

Основываясь на сказанном выше и учитывая:

- гигиенические правила пребывания в световой среде солнечного света,
- пространственно-временные законы проявления солнечного свет,
- «особые точки» в спектрально-энергетических характеристиках солнечного света,
- гигиенические нормы и правила комфортного освещения, – определили СЭП спектра света, который «сладок и приятен для глаз» человека и его здоровья.

Пространственно-временные законы проявления солнечного света

Спектр солнечного света подчиняется пространственно-временному закону (рис. 4 на 2-й стр. обложки, рис. 5). Суть его в том, что каждой точке Земли, временному моменту соответствует свой спектр света. Спектр солнечного света меняется даже в течение дня от восхода до заката. В полдень спектр солнечного света имеет самую большую дозу синего света, которая в разы превышает ее на восходе и на закате. Солнечный свет характеризуется цветовой температурой, чем она выше, тем больше доза синего света в спектре. В течение дня цветная температура солнечного света может изменяться

от 1000°K до 17 000°K и более всего зависит от погоды, сезона и места расположения наблюдателя.

Самая высокая цветная температура солнечного света регистрировалась в полдень. Если не принимать гигиенических мер по защите глаза от полуденного света, то их можно существенно повредить или создать условия, ускоряющие деградацию зрения [14]. Современный урбанизированный человек рождается, учится, работает и болеет в условиях искусственного освещения – люминесцентных ламп и ламп накаливания, вместо которых в директивном порядке внедряются светодиодные источники света [15]. Светодиодные источники света с коррелированной цветовой температурой 4200°K при уровне освещенности 500 лк генерируют избыточную дозу синего, равную дозе синего света в солнечном спектре с цветовой температурой, равной 6500°K. Такая цветная температура солнечного света может воздействовать на глаз в течение 3 ч, если человек не применяет меры защиты от повышенной дозы синего света. А при светодиодном освещении (с 4200°K) с такой высокой избыточной долей синего света человек может находиться от рассвета до заката. При этом глаза человека подвергаются длительному интегральному воздействию избыточной дозы синего.

Медициной накоплен большой опыт по сохранению здоровья человека в солнечной световой среде. На базе этого опыта сформулированы гигиенические правила пребывания на солнце. Солнечные ванны рекомендуется принимать от восхода солнца до 11 ч дня и с 16 ч до захода. Врачи не рекомендуют находиться под полуденным солнцем без одежды (недолго), но рекомендуют принимать гигиенические меры по защите глаз (солнцезащитные очки, козырьки).

Спектрально-энергетические характеристики солнечного света и «особые точки»

На рис. 6 (на 2-й стр. обложки) приведены спектры солнечного света в зависимости от цветовой температуры, а также нанесены границы, в которых можно не применять специальные меры защиты от дозы синего света. Согласно

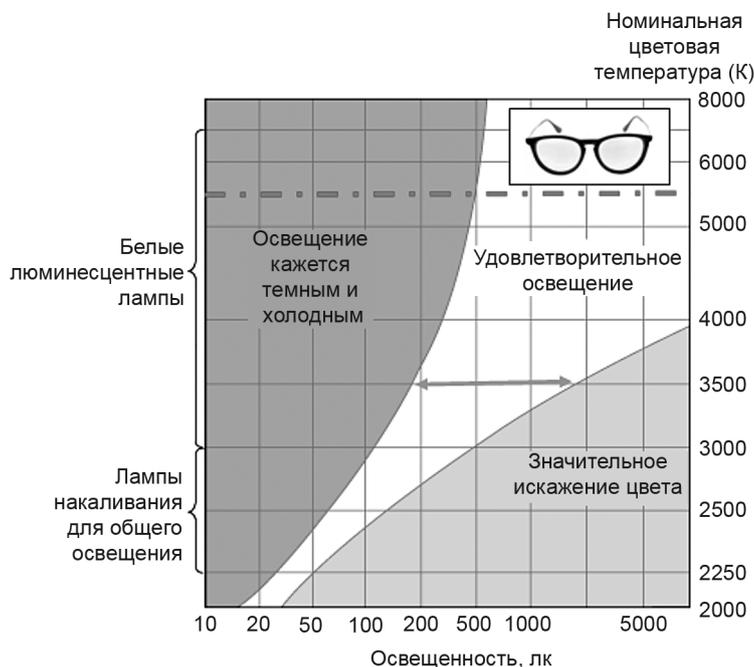


Рис. 8. Диаграмма комфортности в зависимости от освещенности и цветовой температуры.

общезвестным правилам пребывания на солнце, оптимальной является солнечная световая среда с цветовой температурой менее 4000°K.

Спектры солнечного света в зависимости от цветовой температуры (T_k) представляют собой совокупность характеристик $A^T(\lambda)$ при заданном значении T_k .

Все характеристики $A^T(\lambda)$ пересекаются в «особой точке» при $\lambda = 560$ нм.

Также на рис. 6 нанесены специфические линии длин волн, значимых для ганглиозных клеток сетчатки ($\lambda = 460$ нм – управление гормональной системой человека и $\lambda = 480$ нм – управление диаметром зрачка (на его сужение) и для клеток сетчатки ($\lambda = 450$ нм – вызывающих их поражение при избыточной дозе синего света).

При пересечении $A^T(\lambda)$ при $T_k = 5500^\circ\text{K}$ с линиями $A(450)$, $A(460)$ и $A(480)$ образуется совокупность точек, равных значению $A_{450} = A_{460} = A_{480}$.

Через совокупность особых точек (A_{450} , A_{460} , A_{480}) и точку пересечения функций $A^T(\lambda)$, а также по линии $A^T(\lambda)$ при $T_k = 5500^\circ\text{K}$ проходит красно-зеленая линия, которая разделяет пространство характеристик $A^T(\lambda)$ солнечного света на два подпространства, на одном из которых соблюдаются условия «меланопсихического креста» ($A_{450} > A_{460} > A_{480}$), а на другом эти условия не соблюдаются ($A_{450} < A_{460} < A_{480}$) [15].

На рис. 6 видно, что в интервале цветовой температуры от 5500°K до 20 000°K у солнечного света соблюдаются условия «меланопсихического креста» и в этом интервале необходимо применять гигиенические меры защиты от избыточной дозы синего света.

Для интервала цветовой температуры менее 4000°K до 5500°K эти условия не соблюдаются, в этом диапазоне T_k гигиенические меры защиты можно не применять.

Используя данные рис. 6, провели качественную сравнительную оценку соотношения амплитудных значений функций $A_{460}(T_k)$ и $A_{480}(T_k)$, которые являются базовыми длинами волн для ганглиозных клеток. На рис. 7 (на 2-й стр. обложки) приведены функций $A_{460}(T_k)$ и $A_{480}(T_k)$.

Кривые зависимости $A_{460}(T_k)$ и $A_{480}(T_k)$ пересекаются в точке 5500°K и при этом можно выделить две характерные области.

В области 1 соблюдается соотношение $A_{460} < A_{480}$ в диапазоне значений $T_k < 5500^\circ\text{K}$.

В области 2 соблюдается соотношение $A_{460} > A_{480}$ в диапазоне значений $T_k > 5500^\circ\text{K}$.

В значениях $T_k = 5500^\circ\text{K}$ соблюдается соотношение $A_{460} = A_{480}$.

В области 2 детям необходимо принимать по рекомендации врачей гигиенические меры по защите глаз от избыточной дозы синего света в спектре солнечного света. Эту область можно определить как область предельных значений $A_{460}(T_k)$ и $A_{480}(T_k)$, так как в ней из-за избыточной дозы синего света длиной волны 460 нм происходит деградация структуры защитного желтого пятна.

Область значений вокруг точки с координатами (1 и 5500°K) с гигиенической точки зрения определяется как область предельно допустимых значений. Тогда область 1 можно рассматривать как область оптимальных значений.

В дальнейшем значения цветовой температуры намного менее 5500°K в области 1 должны быть скорректированы исходя из требуемых уровней освещенности и зрительного комфорта по правилу Крюитхофа (рис. 8) [16].

Гигиенические нормы и правила комфортного освещения

Посредством эмпирических наблюдений Крюитхоф составил график комфортного состояния при различных уровнях освещенности и цветовой температуры. Он показал, что можно чувствовать себя комфортно в определенной обстановке при низких уровнях освещенности, если цветовой температура также является низкой [16].

С гигиенической точки зрения наиболее приемлемой цветовой температурой солнечного света является 3500°K, которая по правилам Крюитхоф обеспечивает комфортное освещение в диапазоне 200–1500 лк.

Из правила Крюитхофа следует, что при одинаковой цветовой температуре и уровне освещенности по критерию комфортности можно сравнивать между собой различные источники белого света. Такое сравнение можно проводить относительно спектра солнечного света с цветовой температурой 3500°K, при котором не нужно применять гигиенические методы защиты от избыточной дозы солнечной радиации. Однако при цветовой температуре 3500°K возрастает избыточная доза красного света в спектре солнечного света с цветовой температурой 5500°K. Эффект «красного света» до настоящего времени широко изучается. Например, при избыточной дозе красного света формируются изменения в склере глаза, приводящие к изменению длины оптической оси. Разведение цыплят в красном свете вызвало у них прогрессирующую близорукость, в то время как при освещении синим светом – дальзорукость [17–19].

Учитывая эти особенности красного света, необходимо стремиться к тому, чтобы доза красного света не превышала границы на рис. 6 или дозы красного света в спектре солнечного света с цветовой температурой 5500°K. При этом нужно учитывать исключительные свойства красного света длиной волны 670 нм [20].

Учитывая сказанное выше, с гигиенической точки зрения СЭП света определяется формой красно-синей грани-

цы (см. рис. 6), которая эквивалентна характеристике $A^T(\lambda)$ солнечного света при $T_k = 5500^\circ\text{K}$.

Таким образом, СЭП для искусственных источников белого света накладывает ограничения не только на избыточные дозы синего света, но и на избыточные дозы красной части спектра, что можно определить как оптимальный СЭП, который можно применять для оценки спектров светодиодных источников белого света на наличие избыточной дозы света в широком диапазоне частот.

На рис. 9 (на 3-й стр. обложки) показано, как в оптимизированный (СЭП) паттерн белого света укладывается спектр светодиодного источника белого света, изготовленного по технологии TRI-R (21).

На рис. 10 (на 3-й стр. обложки) приведен паттерн спектра светодиодного источника белого света, светодиоды которого изготовлены по технологии (синий кристалл, покрытый желтым люминофором), а доза синего превышает предельные значения СЭП света.

Необходимым, но не достаточным условием для обеспечения безопасности светодиодного источника является не превышение границы (СЭП) света. Для достаточных условий безопасности необходимо, чтобы провалы в спектре светодиодных и люминесцентных ламп не превышали границы СЭП, при которых обеспечивается адекватная защита глаза от этого света.

С целью исключения в спектре светодиодного освещения эффекта «меланопсинового креста» в соответствии с патентом на изобретение «Светодиодный источник белого света с комбинируемым удаленным фотолюминесцентным конвектором» (Патент РФ № 2502917 от 30.12.2011., авторы Дейнего В.Н., Социн Н.П. и Уласюк В.Н.) провал на 480 нм в спектре устранен. На рис. 11 приведены спектрально-энергетические характеристики первых образцов отечественных светодиодных ламп с биологически адекватным спектром света.

Для ограничения выброса на 400 нм можно применить конструктивные меры, как это осуществлено в [22]. Эффективность такого метода защиты приведена на рис. 12 (на 3-й стр. обложки).

Как видно на рис. 12, применение антибликовых покрытий не только ограничивает выброс в диапазоне (360–420 нм), но из-за эффекта переотражения синий свет (360–420 нм) дополнительно повышает эффективность общей светоотдачи люминофора светодиода.

Ликвидировав эффект «меланопсинового креста» в спектре светодиодных ламп с биологически адекватным спектром света, разработчики этих ламп продолжают работы по корректировке спектра с учетом требований спектрально-энергетического паттерна света.

Выводы

1. Методом многокритериального выбора разработан спектрально-энергетический паттерн для оценки уровня избыточной доли синего и красного в спектре искусственных источников света (люминесцентных, компактных люминесцентных и светодиодных ламп).

2. Избыточная доза синего света в спектре солнечного света воздействует на глаза человека в течение ограниченного времени (полудня), а избыточная доля синего света от искусственных источников воздействует на глаза

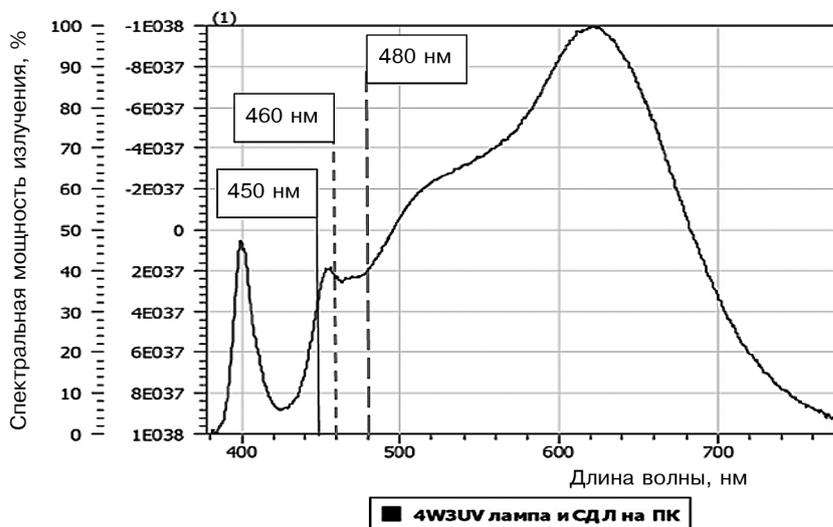


Рис. 11. Спектрально-энергетические характеристики первого образца отечественных светодиодных ламп с биологически адекватным спектром света с коррелированной цветовой температурой равной 3305 К и коэффициентом цветопередачи 95,8.

человека в течение всего времени нахождения в среде искусственного освещения.

3. Продолжительное воздействие избыточной дозы синего света является ускоряющим фактором деградации зрения и нарушения состояния здоровья человека.

4. В настоящее время разработаны и разрабатываются технологии светодиодного освещения белого света, которые соответствуют критерию спектрально-энергетического паттерна и требованиям биологически адекватного спектра (отсутствие провалов в спектре света).

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература (п.п. 2, 4, 14, 17–22 см. References)

1. Вавилов С.И. *Глаз и Солнце*. М.: Наука; 1976.
3. Еськов В.М., Еськов В.В., Джумагалиева Л.Б., Гудкова С.В. Медицина и теория хаоса в описании единичного и случайного. *Вестник новых медицинских технологий*. 2014; 21(3): 27–34.
5. РИА Новости. Математики научились обчислять хаос и последствия «эффекта бабочки». Available at: <http://ria.ru/science/20150728/1151525068.html#ixzz3z5w4x3XJ>
6. Зуева М.В. Нелинейные фракталы: приложения в физиологии и офтальмологии. *Офтальмология*. 2014; 11(1): 4–11.
7. Дейнего В.Н., Капцов В.А., Сорока А.И. Влияние света и физических полей на риск дисгармонизации синтеза мелатонина в шишковидной железе. *Анализ риска здоровью*. 2014; (2): 30–41.
8. Капцов В.А., Дейнего В.Н. Избыточная доза синего света в спектре светодиодного освещения может ухудшить зрение. *Энергосвет*. Available at: <http://www.energосвет.ru/stat875.html>
9. Островский М.А. Фотобиологический парадокс зрения. В кн.: Рубин А.Б., ред. *Проблемы регуляции в биологических системах. Биофизические аспекты*. М.: Институт компьютерных исследований; Ижевск: РХД; 2007: 133–64.
10. Зак П.П., Островский М.А. Потенциальная опасность освещения светодиодами для глаз детей и подростков. *Светотехника*. 2012; (3): 4–6.
11. Зак П.П., Сержникова Н.Б., Погодина Л.С., Трофимова Н.Н., Гурьева Т.С., Дадашева О.А. Фотоиндуцированные изменения субклеточных структур ретикулярного пигментного эпителия перепела *Coturnix japonica*. *Биохимия*. 2015; 80(6): 931–6.
12. Сигаева А.О., Сержникова Н.Б., Погодина Л.С., Трофимова Н.Н., Дадашева О.А., Гурьева Т.С. и др. Изменения сосудистой оболочки глаза разновозрастных групп японского перепела *Coturnix Japonica* в зависимости от спектрального состава освещения. *Сенсорные системы*. 2015; 29(4): 354–61.
13. Новиков Н.Ю. Отмена переходов на летнее и зимнее время в Российской Федерации. Available at: <http://federalbook.ru/news/analitics/25.08.2011.html>
15. Дейнего В.Н., Капцов В.А. Свет энергосберегающих и светодиодных ламп и здоровье человека. *Гигиена и санитария*. 2013; 92(6): 81–4.

16. Феоктистова Т.Г., Феоктистова О.Г., Наумова Т.В. *Безопасность жизнедеятельности. Производственная санитария и гигиена труда*. Часть II. М.; 2007.

References

- Vavilov S.I. *The Eye and the Sun [Glaz i Solntse]*. Moscow: Nauka; 1976. (in Russian)
- Holm S. Does chaos theory have major implications for philosophy of medicine? *Med. Humanit.* 2002; 28(2): 78–81.
- Es'kov V.M., Es'kov V.V., Dzhumagalieva L.B., Gudkova S.V. Medicine and chaos theory in the description of the individual and accidental. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy.* 2014; 21(3): 27–34. (in Russian)
- Scientific output (1975–2013): chaos theory vs. evidence based medicine. Available at: https://figshare.com/articles/Scientific_output_1975_2013_chaos_theory_vs_evidence_based_medicine/1216702
- RIA Novosti. Mathematicians have learned to cheat chaos and consequences of the «butterfly effect». Available at: <http://ria.ru/science/20150728/1151525068.html#ixzz3z5w4x3XJ> (in Russian)
- Zueva M.V. Nonlinear fractals: application in ophthalmology and physiology. *Oftal'mologiya.* 2014; 11(1): 4–11. (in Russian)
- Deynego V.N., Kaptsov V.A., Soroka A.I. The effect of light and physical fields on the risk of disharmonization melatonin synthesis in the pineal gland. *Analiz riska zdorov'yu.* 2014; (2): 30–41. (in Russian)
- Kaptsov V.A., Deynego V.N. Excessive dose of blue light in the spectrum of LED lighting can impair vision. *Energosvet.* Available at: <http://www.energsovet.ru/stat875.html> (in Russian)
- Ostrovskiy M.A. Photobiological paradox of vision. In: Rubin A.B., ed. *The Problems of Regulation in Biological Systems. Biophysical Aspects [Problemy regulatsii v biologicheskikh sistemakh. Biofizicheskie aspekty]*. Moscow: Institut komp'yuternykh issledovaniy; Izhevsk: RKHD; 2007: 133–64. (in Russian)
- Zak P.P., Ostrovskiy M.A. The potential danger of lighting the LEDs for the eyes of children and adolescents. *Svetotekhnika.* 2012; (3): 4–6. (in Russian)

- Zak P.P., Serezhnikova N.B., Pogodina L.S., Trofimova N.N., Gur'eva T.S., Dadasheva O.A. Photoinduced changes of subcellular structures in retinal pigment epithelium of the quail *Coturnix japonica*. *Biokhimiya.* 2015; 80(6): 931–6. (in Russian)
- Sigaeva A.O., Serezhnikova N.B., Pogodina L.S., Trofimova N.N., Dadasheva O.A., Gur'eva T.S. et al. Changes in the choroid of different age groups of Japanese quails *Coturnix Japonica* depending on the spectral composition of the illumination. *Sensornye sistemy.* 2015; 29(4): 354–61. (in Russian)
- Novikov N.Yu. Cancellation of the daylight saving and winter time in the Russian Federation. Available at: <http://federalbook.ru/news/analitics/25.08.2011.html> (in Russian)
- Tomany S.C., Cruickshanks K.J., Klein R., Klein B.E., Knudtson M.D. Sunlight and the 10-year incidence of age-related maculopathy: the Beaver Dam Eye Study. *Arch. Ophthalmol.* 2004; 122(5): 750–7.
- Deynego V.N., Kaptsov V.A. Light energy-saving and led lamp lighting and human health. *Gigiena i sanitariya.* 2013; 92(6): 81–4. (in Russian)
- Feoktistova T.G., Feoktistova O.G., Naumova T.V. *Health and Safety. Industrial sanitation and occupational health [Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. Proizvodstvennaya sanitariya i gigiena truda]*. Part II. Moscow; 2007. (in Russian)
- Wallman J., Winawer J. Homeostasis of eye growth and the question of myopia. *Neuron.* 2004; 43(4): 447–68.
- Iseli H.P., Körber N., Koch C., Karl A., Penk A., Huster D. The Effects of Scleral Blue Light Cross-linking on Eye Growth. 2010.
- Foulds W.S., Barathi V.A., Luu C.D. Progressive myopia or hyperopia can be induced in chicks and reversed by manipulation of the chromaticity of ambient light. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2013; 54(13): 8004–12.
- Albarracin R., Natoli R., Rutar M., Valter K., Provis J. 670 nm light mitigates oxygen-induced degeneration in C57BL/6J mouse retina. *BMC Neurosci.* 2013; 14: 125.
- Sunlight spectrum reproducible white LED (TRI-R). Available at: http://www.toshiba-tmat.co.jp/eng/case_tri_r/index.htm
- Chu Y.C., Lee G.J. Improved Design of UV- and Blue-Light-Inhibited White Light-Emitting Diode. *IEEE Photonics J.* 2015; 4(7): 1600806.

Поступила 11.02.16

Принята к печати 13.05.16

© БОГДАНОВ Н.А., 2017

УДК 614.77:546.49]-074

Богданов Н.А.

ПОДХОД К НОРМИРОВАНИЮ РТУТИ ПО СОДЕРЖАНИЮ ЕЕ ТЕРМОФОРМ В ПОЧВАХ И ДОННЫХ НАНОСАХ

ФГБУН «Институт географии РАН», 119017, Москва

Статья содержит результаты диагностики эколого-гигиенического состояния в разной мере освоенных урбанизацией и разновеликих по площади земель, находящихся в различных агроклиматических условиях Европейской России (юг Астраханского региона, Москва). Оценки состояния территорий используют новый подход к нормированию ртути Hg – по количественным соотношениям содержания ее термоформ в почвах, грунтах и аллювии (в литосубстрате). Метод диагностики основан на известных свойствах форм Hg: геохимическая активность (миграционная подвижность) и токсичность их снижаются с увеличением температурного порога выхода Hg в процессе непрерывного прогрева образца литосубстрата (до 1100 °С). Термоформы не привязаны к конкретным минералам или химическим веществам и условно обозначены как: СВ (Свободная: <180 °С), ХЛ (Хлоридная: 180–250 °С), ФС и ХС (Физически и Химически Сорбированные: 250–400 °С), СУ (Сульфидная: 400–500 °С), ИЗ (Изоморфная: >500 °С) формы Hg. Среди форм по комплексам низко-, средне- и высокотемпературных их разновидностей также условно выделены группы «мобильных», «устойчивых» и «инертных» форм (СВ + ХЛ; ФС + ХС и СУ + ИЗ соответственно). Для техногенной Hg характерно наличие и преобладание в пробе группы «мобильных», в меньшей степени – «устойчивых» термоформ. Экологическая опасность тем выше, чем интенсивнее это преобладание. Природное накопление диагностируется наличием и преобладанием суммы средне- и высокотемпературных инертных форм Hg. По соотношениям содержания Hg, ее форм и их групп, а также по тесноте корреляционных связей между ними разработаны 6 показателей состояния почв и аллювия. Основные из числа показателей по информативности результатов диагностики – коэффициенты: Эндогенного привноса, Геохимической активности и Мобильности Hg. С учетом сочетаний изменчивости значений показателей, общего количества Hg, генезиса и интенсивности ее накопления (природного или техногенного), разработаны также и шкалы градаций эколого-гигиенического состояния территорий суши и участков поверхностных водных объектов. В итоге, информативность оценок ртутного загрязнения земель на основе такого подхода к нормированию Hg существенно возросла. На объектах оценок выделены: очаги проявления на поверхности ландшафта глубинных эманацій Hg – ореолы рассеяния в зонах трещиноватости земной коры (купол Астраханского газоконденсатного месторождения); экологически опасные, местами даже и при низком валовом содержании Hg, участки территорий городов, поселков, их кварталов, а также русел водотоков и дна водоемов (долина и дельта Волги, квартал Лефортово в Москве). Диагностирован и порог фонового распределения валового содержания Hg = 0,2–0,3 мг/кг. Его величина согласуется с отечественными и зарубежными безопасными уровнями накопления в почвогрунте Hg = 0,3–0,4 мг/кг. Подход обеспечивает дифференциацию экологической опасности земель. Технология подхода может использоваться

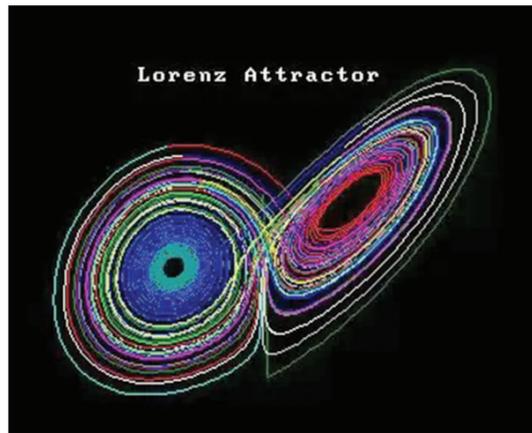


Рис. 1. Аттрактор Лоренца.

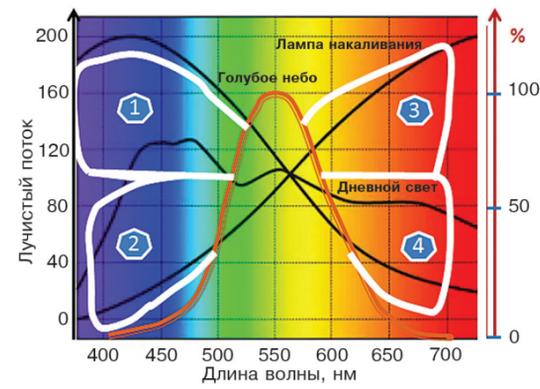


Рис. 2. Кривая видности, спектр лампы накаливания и спектр солнечного света, с нанесением областей не визуального воздействия света.



Рис. 3. Бабочка-переливница тополевая, или радужница малая, или переливница малая (лат. *Araturia ilia*) – дневная бабочка из сем. Nymphalidae. Илия (римская мифология) – Рея Сильвия, мать Ромула и Рема, родоначальница римлян.

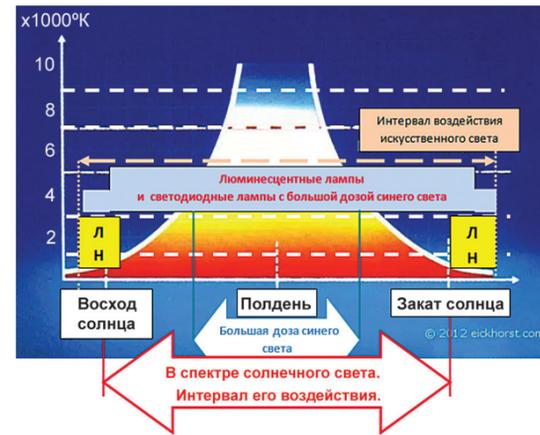


Рис. 4. Изменение спектра (цветовой температуры) в течение дня.

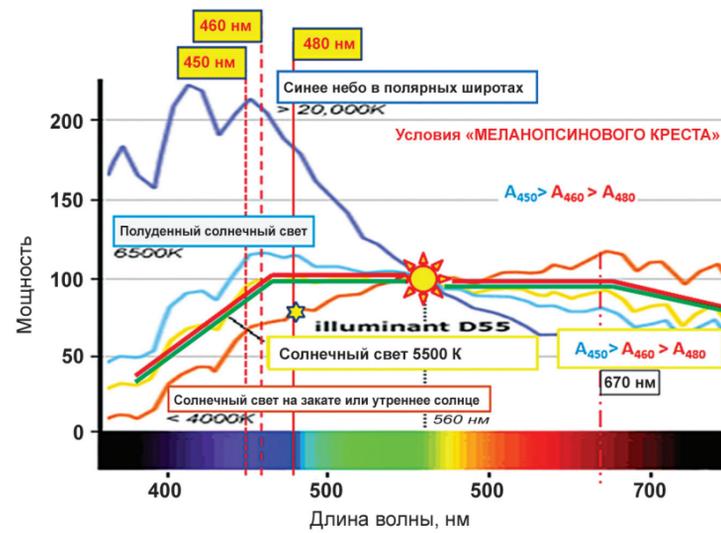


Рис. 6. Спектры солнечного света в зависимости от цветовой температуры.

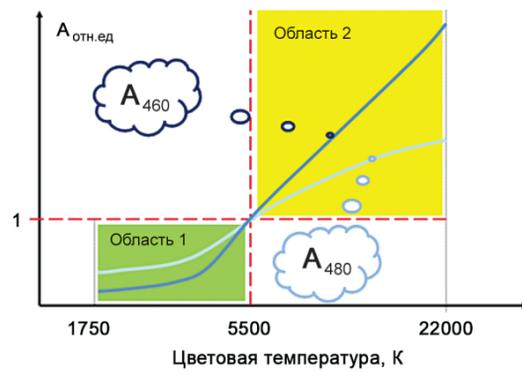


Рис. 7. Качественная оценка функций $A_{460}(T_k)$ и $A_{480}(T_k)$.

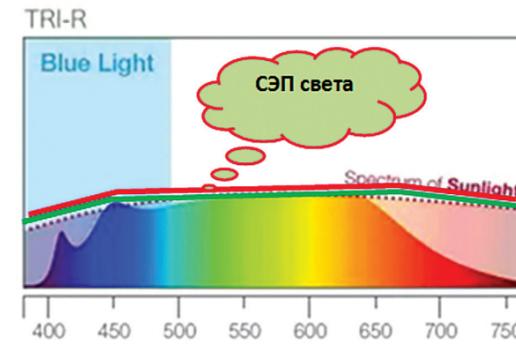


Рис. 9. Оптимизированный СЭП белого света и паттерн спектра светодиодного источника белого света, изготовленного по технологии TRI-R.

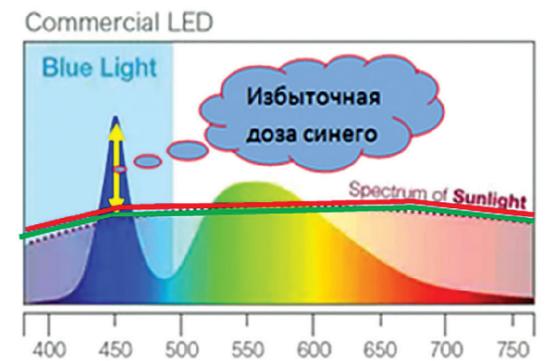


Рис. 10. Оптимизированный (СЭП) спектр солнечного света 5000 К, паттерн спектра светодиодного источника белого света, изготовленного по технологии (синий кристалл, покрытый желтым люминофором) и паттерн спектра люминесцентных ламп.

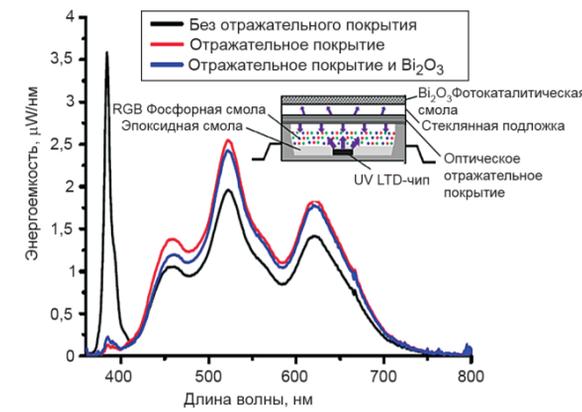
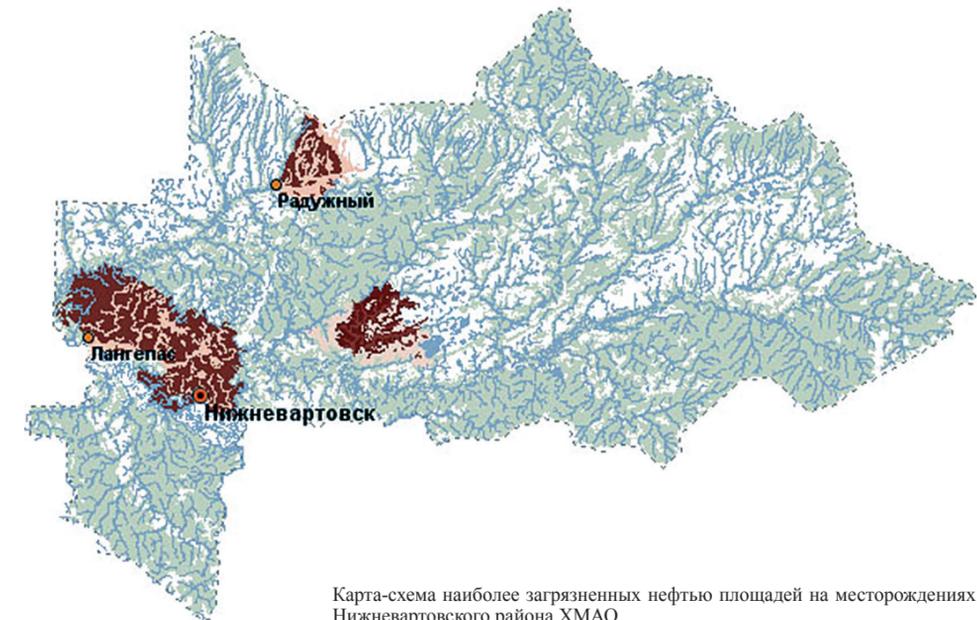
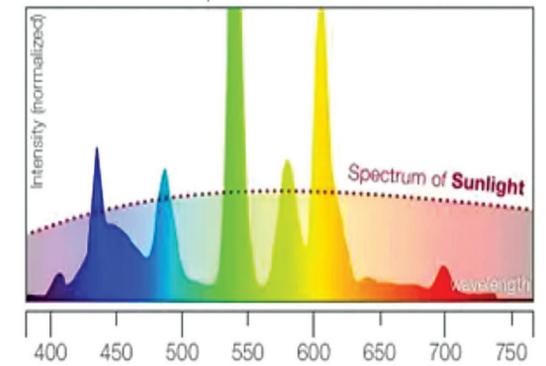


Рис. 12. Сравнение спектров белых светодиодов с различными вариантами защиты от света с длиной волны от 360 до 420 нм: со стеклом без отражательного покрытия в диапазоне (360–420 нм), со стеклом с отражательным покрытием, со стеклом с отражением и покрытием Bi_2O_3 .



Карта-схема наиболее загрязненных нефтью площадей на месторождениях Нижневартовского района ХМАО.