

**ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА  
С РАЗНЫМ СПЕКТРАЛЬНЫМ СОСТАВОМ НА НЕКОТОРЫЕ  
ПОКАЗАТЕЛИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ  
НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ КРЫС**

**THE IMPACT OF ARTIFICIAL LIGHT SOURCES WITH DIFFERENT SPECTRAL  
COMPOSITION ON SOME INDICATORS OF THE FUNCTIONAL STATE  
OF THE LABORATORY RATS CENTRAL NERVOUS SYSTEM**

***В. А. Коноплянко, А. Ю. Баслык, В. М. Василькевич***  
***V. Konoplyanko, A. Baslyk, V. Vasilkevich***

*Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,  
г. Минск, Республика Беларусь,  
rspch@rspch.by*

*Republican unitary enterprise «Scientific practical centre of hygiene»,  
Minsk, Republic of Belarus, rspch@rspch.by*

В работе представлены результаты исследований влияния световой среды, сформированной светодиодными источниками света различной коррелированной цветовой температуры, на способность центральной нервной системы лабораторных животных суммировать подпороговые импульсы. Проанализированы изменения суммационно-порогового показателя у крыс, содержащихся в условиях светодиодного освещения, формируемого источниками на основе полупроводниковых кристаллов двух типов с максимальным излучением в синей и фиолетовой областях спектра. Установлено отсутствие различий в значениях суммационно-порогового показателя между контрольной и экспериментальными группами в подостром и субхроническом эксперименте, а также между животными, содержащимися в условиях искусственной световой среды, сформированной источниками света с разной длиной волны светоизлучающего кристалла.

The article showed the results of studies of the impact of the luminous environment formed by LED of various correlated color temperatures on the ability of the central nervous system of laboratory animals to summarize subthreshold impulses. Changes in the summation threshold indicator in animals contained in the conditions of LED lighting formed by sources based on semiconductor crystals of two types with maximum radiation in the blue and violet regions of the spectrum are analyzed. The lack of differences in the values of the summation threshold indicator between the control and experimental groups in the subacute and subchronic experiment as well as between animals contained in an artificial luminous environment formed by light sources with different wavelengths of a light-emitting crystal were revealed.

*Ключевые слова:* световая среда, светодиод, цветовая температура, суммационно-пороговый показатель.

*Keywords:* luminous environment, light-emitting diode, colour temperature, summation threshold indicator.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-1-140-143>

Световая среда, рассматриваемая как совокупность внешних физических световых факторов, влияющих на зрительное восприятие человеком окружающего пространства, является неотъемлемым элементом среды обитания, обеспечивающим наибольший объем информации об окружающем мире, воспринимаемый человеком. Она также способствует согласованности эндогенных биологических ритмов организма с фотопериодизмом, являясь одним из важнейших факторов адаптации психофизиологических реакций на внешние раздражители. С учетом светоклиматических особенностей Республики Беларусь городской житель проводит большую часть суток в условиях искусственной световой среды помещений, как правило, даже днем с включенным электрическим освещением, дополняющим недостаточное естественное освещение. Таким образом, можно рассматривать актуальную световую среду, сформированную искусственными источниками света, как один из параметров экологии человека.

Современные системы искусственного освещения функционально пластичны и предоставляют возможность применения различных типов электрических источников света (разрядные, светодиодные, лампы накаливания), обладающих широким набором разнообразных светотехнических параметров, что позволяет формировать множество вариаций искусственной световой среды помещений, отличающихся уникальной комбинацией показателей, характеризующих освещение по количественным и качественным критериям. Одним из критериев качества искусственной световой среды, является ее цветность, характеризующая спектральное распределение мощности электромагнитного излучения в видимой части спектра. При этом результаты научных исследований указывают, что особенности распределения энергии в спектре видимого излучения, проявляющихся разными условиями световой среды, наряду

с формированием зрительного образа в проекционных зонах коры больших полушарий, благодаря морфофункциональным связям зрительного анализатора и подкорковых структур, проявляются развитием иных реакций центральной нервной системы (тревожность, изменение активности, поведения, эмоционального состояния и др.).

На сегодняшний день наиболее динамично развивающейся и имеющей огромный потенциал применения для целей освещения помещений зданий различного назначения, является светодиодная (полупроводниковая) технология генерирования света, основанная на свойстве полупроводника с электронно-дырочным или p-n-переходом испускать электромагнитное излучение оптического диапазона при возбуждении его электрическим током. В настоящее время промышленно используется несколько способов получения белой цветности световой среды с помощью светоизлучающих диодов (светодиодов). Одними из самых дешевых и наиболее распространенных являются люминофорные светодиодные источники света. Как правило, они выполняются на основе полупроводниковых кристаллов с максимальным излучением в синей области спектра, покрытых желтым люминофором. Так формируется свет, который благодаря особенностям физиологических реакций человека, воспринимается как белый. Существующие запреты и ограничения, введенные в современную законодательную практику, вызванные прежде всего неоднозначным отношением к безопасности такого излучения, заставляют производителей продолжать поиск более безопасной альтернативы для получения белого света.

Таким образом, широкое использование для освещения помещений светодиодных источников света с разными цветовыми характеристиками, отличающихся большим количеством возможных комбинаций спектра генерируемого некогерентного видимого излучения, воспринимаемых зрительным анализатором человека в виде разных цветностей белого света, требует обоснования критериев, характеризующих светодиодное освещение помещений с позиций безопасности и безвредности для человека, что определяет актуальность научных физиолого-гигиенических исследований в области фото- и хронобиологии, одним из важных элементов которых является экспериментальное изучение влияния световой среды, формируемой искусственными источниками света с разным спектральным составом, на некоторые показатели функционального состояния центральной нервной системы лабораторных животных.

Наиболее распространенной и общепринятой мерой объективной оценки восприятия человеком цветности источников света является коррелированная цветовая температура ( $T_{cp}$ ), которая определяется как температура эталонного источника света, за который принято абсолютно черное тело (излучатель Планка), при которой излучаемый им свет имеет цветность наиболее близкую к цветности воспринимаемой наблюдателем или инструментально оцениваемой световой среды (измеряется в градусах по шкале Кельвина (K)). Визуальное восприятие видимого излучения, создаваемого источниками света классифицируется по коррелированной цветовой температуре как теплая (при коррелированной цветовой температуре менее 3300 K), промежуточная или средняя (3300–5300 K) и холодная (свыше 5300 K).

Республиканским унитарным предприятием «Научно-практический центр гигиены» в рамках выполнения этапа научно-исследовательской работы «Обосновать и разработать гигиенические критерии к спектральному составу световой среды, формируемой искусственными источниками света на рабочих местах» подпрограммы «Безопасность среды обитания человека» государственной научно-технической программы «Научно-техническое обеспечение качества и доступности медицинских услуг» проведены исследования влияния искусственной световой среды, формируемой светодиодными источниками света с разным спектральным составом, на некоторые физиологические реакции лабораторных крыс.

Для моделирования условий опыта совместно с республиканским научно-производственным унитарным предприятием «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий Национальной академии наук Беларуси» изготовлена экспериментальная установка, состоящая из 9 отдельных шкафов (боксов), габариты которых позволяют разместить одну стандартную клетку для группы лабораторных крыс [1]. В боксах при помощи светодиодных источников света создана искусственная световая среда, характеризующаяся одинаковыми количественными показателями (стабильный (коэффициент пульсации менее 1 %) световой поток около 1400 лм; освещенность 200 лк), но отличающаяся значениями коррелированной цветовой температуры от 2000 K до 8000 K, а также типом светодиодов (тип I на основе полупроводниковых кристаллов с максимальным излучением в синей области спектра (длина волны ( $\lambda$ ) 470 нм); тип II на основе полупроводниковых кристаллов с максимальным излучением в фиолетовой области спектра (длина волны 405 нм) [2].

Экспериментальная часть работы выполнена в период года, характеризующийся наиболее коротким световым днем на половозрелых самцах нелинейных белых крыс (по 7 особей в каждой группе), с массой в начале эксперимента 180–220 г, которые содержались на стандартном рационе вивария. Обращение с животными соответствовало этическим принципам надлежащей лабораторной практики и международным требованиям. За период наблюдения летальных исходов не зарегистрировано, внешних признаков нарушения состояния белых крыс всех групп не обнаружено. Статистически значимых различий массы тела животных экспериментальных групп в сравнении с контрольной группой не выявлено.

Для реализации опыта сформированы следующие опытные группы лабораторных животных, содержащиеся в соответствующих условиях искусственной световой среды экспериментальной установки:

- № 1 – светодиоды тип I,  $\lambda = 470$  нм,  $T_{cp} = 2000$  K;
- № 2 – светодиоды тип I,  $\lambda = 470$  нм,  $T_{cp} = 8000$  K;
- № 3 – светодиоды тип I,  $\lambda = 470$  нм,  $T_{cp} = 2700$  K;

- № 4 – светодиоды тип I,  $\lambda = 470$  нм,  $T_{cp} = 4000$  К;
- № 5 – светодиоды тип I,  $\lambda = 470$  нм,  $T_{cp} = 5700$  К;
- № 6 – светодиоды тип II,  $\lambda = 405$  нм,  $T_{cp} = 2700$  К;
- № 7 – светодиоды тип II,  $\lambda = 405$  нм,  $T_{cp} = 4000$  К;
- № 8 – светодиоды тип II,  $\lambda = 405$  нм,  $T_{cp} = 5700$  К.

Контрольная группа лабораторных крыс содержалась в боксе с естественным освещением вивария.

При проведении эксперимента в боксах опытных групп лабораторных крыс был задан суточный световой режим, при котором искусственное освещение в боксах включалось на 8 часов в период с 9:00 до 17:00, остальное время суток лабораторные животные всех групп находились в одинаковых условиях естественного освещения вивария. Длительность содержания лабораторных животных в данных экспериментальных условиях составила 28 (подострый эксперимент) и 90 (субхронический эксперимент) суток. По истечении 28 и 90 суток эксперимента были выполнены исследования способности центральной нервной системы лабораторных животных суммировать подпороговые импульсы. Данная методика является чувствительным, адекватным и в тоже время простым и хорошо воспроизводимым приемом оценки состояния центральной нервной системы при действии внешних раздражителей [3]. Суммационно-пороговый показатель отражает величину порога возбудимости, которую определяют по факту отдергивания задней лапы от подведенного электрода при равномерном увеличении подаваемого электрического импульса (напряжения). Значение суммационно-порогового показателя устанавливали по проявлению гиббательного рефлекса, который регистрировали с помощью импульсного электронного стимулятора «ИСЭ-01» и выражали в вольтах (В).

Полученные данные для оценки достоверности обрабатывались общепринятыми методами статистики. Расчеты статистической значимости критериев проверки нулевой гипотезы на соответствие фактического распределения измеренных значений нормальному показали, что уровень статистической значимости ( $p$ ) для критериев Колмогорова-Смирнова, Колмогорова-Смирнова с поправкой Лиллиефорса и Шапиро-Уилка составил менее 0,05, что свидетельствует о распределении изучаемой выборки, отличающемся от нормального, поэтому количественные значения оцениваемых показателей поведенческих реакций крыс ниже представлены в виде медианы ( $Me$ ) и интерквартильного размаха ( $Q1$ ;  $Q3$ ). При оценке различий между результатами опыта и показателями контроля использовали непараметрический  $U$ -критерий Манна-Уитни. Критическим уровнем значимости при проверке статистических гипотез был принят критерий доверительной вероятности  $p < 0,05$ .

Результаты исследования способности лабораторных животных к суммации подпороговых импульсов представлены в таблице 1.

Таблица 1

*Результаты исследования суммационно-порогового показателя*

| Группа лабораторных животных с описанием параметров искусственной световой среды эксперимента | Суммационно-пороговый показатель, В, на различных сроках эксперимента |                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------|
|                                                                                               | 28 суток<br>$Me (Q1; Q3)$                                             | 90 суток<br>$Me (Q1; Q3)$ |
| Контрольная (естественное освещение)                                                          | 5,1 (0,8)                                                             | 5,3 (0,6)                 |
| № 1 – светодиоды тип I, $\lambda = 470$ нм, $T_{cp} = 2000$ К                                 | 5,2 (0,4)                                                             | 5,4 (0,6)                 |
| № 2 – светодиоды тип I, $\lambda = 470$ нм, $T_{cp} = 8000$ К                                 | 4,8 (0,8)                                                             | 4,9 (0,8)                 |
| № 3 – светодиоды тип I, $\lambda = 470$ нм, $T_{cp} = 2700$ К                                 | 4,9 (0,5)                                                             | 4,9 (0,6)                 |
| № 4 – светодиоды тип I, $\lambda = 470$ нм, $T_{cp} = 4000$ К                                 | 4,9 (0,6)                                                             | 5,0 (0,6)                 |
| № 5 – светодиоды тип I, $\lambda = 470$ нм, $T_{cp} = 5700$ К                                 | 5,1 (0,6)                                                             | 5,2 (0,6)                 |
| № 6 – светодиоды тип II, $\lambda = 405$ нм, $T_{cp} = 2700$ К                                | 4,9 (0,6)                                                             | 5,1 (0,7)                 |
| № 7 – светодиоды тип II, $\lambda = 405$ нм, $T_{cp} = 4000$ К                                | 5,2 (0,5)                                                             | 5,3 (0,6)                 |
| № 8 – светодиоды тип II, $\lambda = 405$ нм, $T_{cp} = 5700$ К                                | 5,1 (0,5)                                                             | 5,3 (0,5)                 |

При анализе полученных данных показано, что выраженность суммационно-порогового показателя у животных группы № 1 (тип I, 2000 К), содержащихся как при 28-дневной, так и при 90-дневной экспозиции соответствовала контрольной группе, тогда как значения анализируемого показателя у крыс группы № 2 (тип I, 8000 К), при обоих вариантах экспозиции несколько ниже контроля. Выявлено некоторое снижение значений суммационно-порогового показателя лабораторных животных, содержащихся в условиях световой среды, сформированной светодиодными источниками света типа I (2700 – 5700 К) по сравнению с контрольной группой. Отмеченная тенденция наблюдалась как в подостром, так и в субхроническом эксперименте. Значения суммационно-порогового показателя у животных, содержащихся в условиях световой среды, сформированной светодиодными источниками света типа II (2700 – 5700 К), практически не отличались таковых контрольной группы. У животных, содержащихся в условиях световой среды, субъективно оцениваемой как «теплая» с КЦТ 2700 К сформированной светодиодными источниками света I типа – на основе синего кристалла (около 470 нм) и II типа – на основе

фиолетового кристалла (около 405 нм) в подостром и субхроническом эксперименте отмечены более низкие значения суммационно-порогового показателя, чем у животных, содержащихся в условиях экспозиции светодиодными источниками света I типа и II типа с КЦТ: 4000 К (средняя) и 5700 К (холодная). В наших исследованиях, после выполненной статистической обработки результатов исследований способности лабораторных крыс к суммации подпороговых импульсов, отличий ( $p < 0,05$ ) в значениях суммационно-порогового показателя между контрольной и экспериментальными группами как после 28-суточной, так и после 90-суточной световой экспозиции выявлено не было.

Полученные в результате исследований данные подтверждают наблюдения ряда авторов, показавших отсутствие различий на статистически значимом уровне в реакции зрительного анализатора на выполняемую зрительную работу различной точности в условиях световой среды, сформированной светодиодными источниками света I и II типов [4, 5]. Формирование устойчивых морфофункциональных связей структур зрительного анализатора как с корковыми отделами центральной нервной системы, так и с гипоталамо-гипофизарной системой у высших животных обеспечивает возможность синхронизации активности эндогенных регуляторных систем с факторами окружающей среды. Изменение спектрального состава актуальной световой среды может обладать триггерным эффектом для целого ряда перестроек в активности нервной, эндокринной и иммунной регуляторных систем. Такие изменения, вовлекая в перестройку значительные ресурсы организма, могут рассматриваться как стрессовый фактор и оцениваться как неблагоприятные. С другой стороны, отсутствие значимых отличий в реакциях организма на внешний стимул, в условиях воздействия световой среды, сформированной искусственными источниками света разной цветовой температуры и основанной на излучении кристаллов с разной длиной волны, можно рассматривать как благоприятный признак при оценке световой среды с позиций безопасности или безвредности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Устройство моделирования световой среды : пат. ВУ 12250 U / А. Ю. Баслык, В. А. Конопляно, Е. К. Власенко, С. Л. Итпаева-Людчик, Ю. В. Трофимов, С. И. Лишик, В. И. Цвирко, А. Е. Челябин. – Оpubл. 28.02.2020.
2. Экспериментальная установка для исследования влияния освещения на лабораторных животных / А. Ю. Баслык [и др.] // Молекулярные, мембранные и клеточные основы функционирования биосистем : междунар. науч. конф. ; Тринадцатый съезд Белорус. обществ. об-ния фотобиологов и биофизиков : тез. докл., Минск, Беларусь, 27–29 июня 2018 г. / редкол.: И. Д. Вологовский (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2018. – С. 102.
3. Сперанский, С. В. О преимуществах использования нарастающего тока при исследовании способности белых мышей к суммации подпороговых импульсов / С. В. Сперанский // Фармакология и токсикология. – 1965. – № 1. – С. 123–124.
4. Салаев, И. А. Влияние спектрального состава излучения светодиодов первого и второго поколений на состояние органа зрения / И. А. Салаев, С. Н. Агеев, О. Е. Железникова // XLIX Огарёвские чтения : материалы научной конференции, Саранск, 07–13 дек. 2020 г. : в 3 ч. – Саранск : Нац. исслед. Мордов. гос. ун-т им. Н. П. Огарёва, 2021. – С. 426–433.
5. Проникина, С. Е. К вопросу об оценке зрительной работоспособности при освещении производственных помещений светодиодами второго поколения / С. Е. Проникина, Л. В. Сеницына, О. Е. Железникова // Материалы XXIII научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарёва, Саранск, 21–28 мая 2019 г.: в 3-х ч. / Сост.: А. В. Столяров ; отв. за вып. П. В. Сенин. – Саранск : Нац. исслед. Мордов. гос. ун-т им. Н. П. Огарёва, 2019. – С. 219–223.

## К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РАДИОЭКОЛОГИИ

### ON THE USE OF COMPUTER TECHNOLOGY IN RADIOECOLOGY

**А. Г. Зарифьян, Е. М. Бебинов, С. Г. Самоцветов, В. А. Вейберов, Д. Е. Буш**  
**A. G. Zarifian, E. M. Bebinov, S. G. Samotsvetov, V. A. Veyberov, D. E. Bush**

*Кыргызско-Российский Славянский университет имени Б. Н. Ельцина  
Бишкек, Кыргызская Республика  
samotsvetov-sg@yandex.com  
Kyrgyz-Russian Slavic University B.N. Yeltsin  
Bishkek, Kyrgyz Republic*

Для оценки факторов риска радиационного воздействия разработан и изготовлен гамма-спектрометр самостоятельно и без существенных вложений. В качестве анализатора импульсов использован персональный компьютер с установленной специальной прикладной программой, предварительный усилитель-формирователь выполнен по оригинальной схеме с низким уровнем шума.