

## Разработка инновационных источников света на основе светодиодов для промысла сайры

DOI

Кандидат технических наук, доцент **А.Н. Бойцов**;  
кандидат экономических наук, доцент **С.В. Лисиенко**;  
кандидат технических наук, доцент **Е.В. Осипов**;  
доктор технических наук, профессор **Т.М. Бойцова**;  
кандидат технических наук **В.В. Баринов**;  
аспирант **Д.Г. Наумов**;  
аспирант **А.С. Комков** -  
Кафедра «Промышленное рыболовство»,  
Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет (ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз»), Россия, г. Владивосток

@ boytsov.an@dgtru.ru;  
lisienkosv@mail.ru;  
oev@mail.ru;  
hunter.13@mail.ru

**Ключевые слова:**  
сайра, промысел на свет, светодиоды, спектр света

**Keywords:**  
saury, light fishing, LEDs, light spectrum

### DEVELOPMENT OF INNOVATIVE LIGHT SOURCES BASED ON LEDs FOR SAURY FISHING

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor **A.N. Boytsov**;  
Candidate of Economic Sciences, Associate Professor **S.V. Lisienko**;  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor **E.V. Osipov**;  
Doctor of Technical Sciences, Professor **T.M. Boytsova**;  
Candidate of Technical Sciences **V.V. Barinov**;  
graduate student **D.G. Naumov** –  
Postgraduate student **A.S. Komkov** - Department of "Industrial Fisheries", Far Eastern State Technical Fisheries University (FSBEI VO "Dalrybvtuz", Russia, Vladivostok

The paper scientifically substantiates the use of LED lighting for use in the saury fishery, which uses the calculated spectra of LEDs in the blue spectrum, taking into account the peculiarities of the structure of vision in saury. The proposed lighting systems will reduce the cost of light emission by 7-9 times, and will reduce fuel costs and, accordingly, reduce the carbon component (CO<sub>2</sub> emissions) on domestic fishing vessels.

В настоящее время на промысле гидробионтов, реагирующих на свет, стали использоваться светодиодные лампы, что было связано напрямую с экономией электроэнергии. Такая программа была начата в Японии в 2004 году [1]. В ходе этих исследований на промысле сайры в начальный период использовались металлогидридные лампы, которые потребляли 638 кВт, затем стали использовать светодиоды с зеленоватым спектром и сократили количество металлогидридных ламп при мощности 522

кВт. Далее металлогидридные лампы исключили, и мощность составила 145 кВт, при этом использовались белые светодиоды на основе синего светодиода и зеленые светодиоды. В дальнейшем исследования были связаны со снижением светового потока, при условии обеспечения уловистости, заменив зеленые светодиоды белыми, таким образом, была достигнута потребляемая мощность в 65 кВт.

Конечно, сокращение мощности не могло вестись только за счет снижения количества

ламп и замену их светодиодами, а определялось в дальнейшем спектром восприятия облавливаемых гидробионтов [1]. Однако подобные исследования велись давно, при этом как у нас, так и в других странах, это не носило практической направленности для задач рыболовства. Но с появлением светодиодов на это обратили внимание, что связано с применением в начальный период белых светодиодов. Сравнение спектров различных видов ламп показано на рисунке 1.

В настоящее время белые светодиоды производятся в основном на основе синего светодиода, с применением специальных преобразователей (покрытие люминофором), в смещение спектра в сторону красного цвета (рис. 1), при этом потеря мощности потока может достигать 20%. Однако белые светодиоды на основе ультрафиолетового светодиода с применением люминофора тоже выпускаются, но имеют меньший КПД, по сравнению с белым светодиодом на основе синего. При регулировке яркости светодиода силой тока происходят изменения интенсивности светового потока в основном в синем диапазоне спектра. Проходя воду у светового потока происходит его ослабление, вследствие поглощения и рассеяния (рис. 2), которые определяются по формуле:

$$I = I_0 e^{-(\chi_\lambda + k_\lambda x)}, \quad (1)$$

где  $I_0$  – начальный световой поток;  $(\chi_\lambda + k_\lambda x)$  – показателем ослабления света;  $\chi_\lambda$  – показатель рассеивания;  $k_\lambda$  – показатель поглощения.

Как можно видеть (рис. 2), на самую большую глубину распространяется синий спектр света, поскольку он имеет наименьший показатель поглощения.

Исследования максимальной реакции сайры показали, что она лежит в области синего света в пределах 500 нм (рис. 3).

Для оценки сравнения различных типов ламп, используемых на промысле, получены зависимости светового потока от потребляемой мощности:

$$\Phi = 0,0661W + 12,892, (R^2 = 0,9959); \quad (2)$$

$$\Phi = 0,0154W + 1,9708, (R^2 = 0,9876); \quad (3)$$

$$\Phi = 0,0101W + 1,9192, (R^2 = 0,998). \quad (4)$$

На отечественном промысле сайры и кальмара в настоящее время используются люминесцентные лампы, при этом эффективность лм/ватт близка к простым светодиодам, но срок службы в 3-4 раза ниже, при этом у люминесцентных ламп происходит снижение светопотока намного быстрее, чем у светодиодных ламп. Поэтому замена люминесцентных ламп на светодиоды позволяет значительно снизить затраты на ведение промысла.

Однако световой поток учитывает весь спектр, поэтому для определения потока света в синем диапазоне приведем световой поток разных типов ламп к синему светодиоду (рис. 1), соответственно коэффициент  $k_{BL}$  для: лампы накаливания – 0,06; лампы ртутной люминесцентной – 0,01.

Тогда расчет светового потока можно найти по формуле

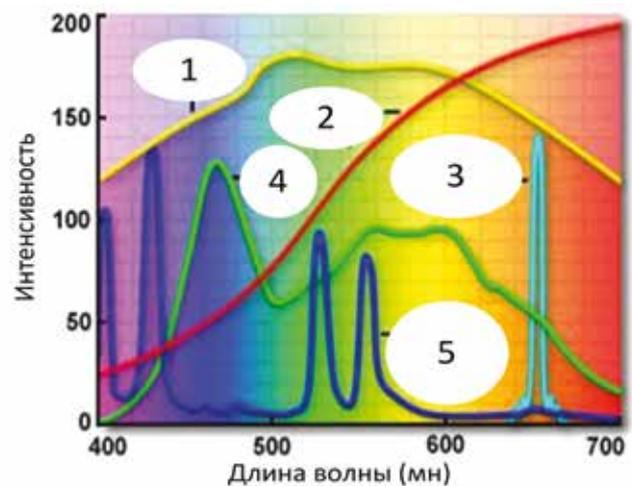
$$L = k_{BL} L_{BL}, \quad (5)$$

В работе научно обосновано применение светодиодного освещения для использования на промысле сайры, которое использует расчетные спектры светодиодов в синем спектре, с учетом особенностей строения зрения у сайры. Предложенные системы освещения снизят затраты на излучение света в 7-9 раз, и позволит сократить расходы на топливо и, соответственно, уменьшить углеродную составляющую (выбросы  $CO_2$ ) на судах отечественного промысла.

где  $L_{BL}$  – световой поток синего светодиода.

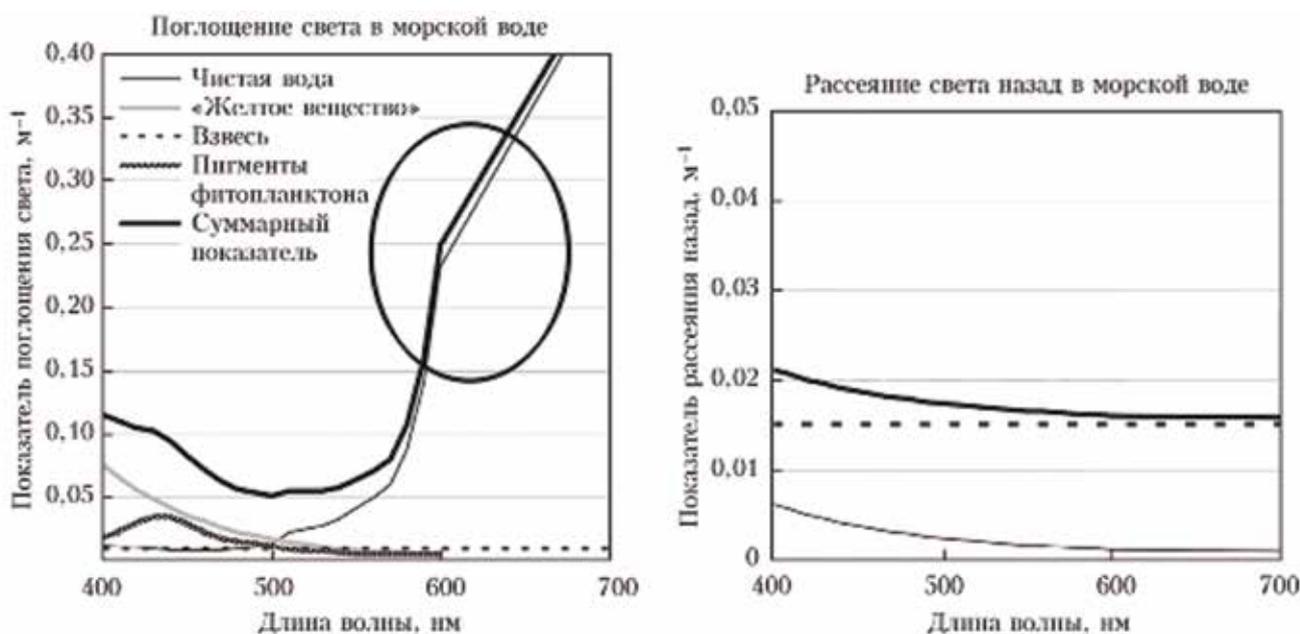
Таким образом, чтобы достигнуть эффективности по синему цвету, при световом потоке в 2100 Лм светодиодной лампы в 22 Вт, используя (2, 3, 5), необходимо иметь лампы накаливания мощностью 2326 Вт или люминесцентные лампы 3236 Вт. Это объясняет тот факт, что, при применении люминесцентных ламп на промысле сайры и кальмара, пришлось значительно увеличивать затраты на электроэнергию, по сравнению с лампами накаливания, с целью повышения эффективности вылова.

Отечественный промысел с применением светодиодных ламп на Дальнем Востоке развивался также, как и в Японии, но остановился на применении светодиодов вместе с галогенными лампами. Вывод авторов [3] показывает, что «среднесуточный вылов у судов, оснащённых галогенными люстрами и светодиодными блоками выше, чем у судов, оснащенных только лампами накаливания или светодиодными блоками». Для анализа произошедшего, рассмотрим результаты исследования спектра ламп на отечественных судах (рис. 4).



**Рисунок 1.** Спектр ламп и солнечного света: 1 – дневной свет; 2 – лампы накаливания; 3 – лазер; 4 – белый светодиод на основе синего светодиода; 5 – ртутные лампы

**Figure 1.** The spectrum of lamps and sunlight: 1 – daylight; 2 – incandescent lamps; 3 – laser; 4 – white LED based on blue LED; 5 – mercury lamps



**Рисунок 2.** Показатели поглощения и рассеивания света от длины волны [2]

Figure 2. Indices of absorption and scattering of light from wavelength [2]

Здесь видно, что белые светодиоды были изготовлены на основе ультрафиолетового светодиода, в результате – в области реакции сайры на свет 480-510 нм (рис. 3), яркость излучения была самая минимальная 7-10%. Галогенные лампы в спектре реакции сайры имеют яркость от 20 до 27%. Поэтому совместное их использование дает лучший результат. Понимая это, было предложена система управления светодиодами [5] для выявления, в том числе, реакции сайры на определенный спектр света.

Необходимо отметить, что на отечественном промысле в 70-х годах использовались лампы накаливания синего света, обеспечивая по максимуму перевод всего светового потока в синий свет, и уловы были вполне удовлетворительные. Но в дальнейшем промысловики ориентировались на японский

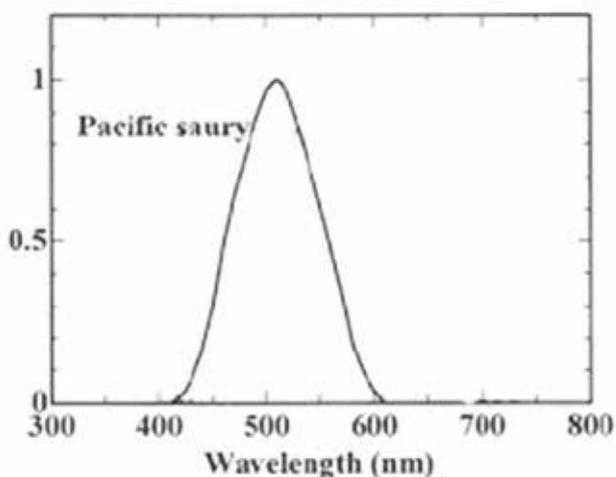
промысел, который уже тогда начал использовать люминесцентные лампы широкого спектра, обеспечивая значительный световой поток, и понимание важности синего света было забыто.

Как показали исследования [4], у сайры относительно крупные глаза с развитым аппаратом аккомодации и область повышенной остроты зрения на сетчатке (fovea). Во внутренней камере глаза имеется специализированная пигментированная перегородка (шторка), предположительно выполняющая функцию светозащитного экрана [4]. Сетчатка содержит множество палочек, одинарных и двойных колбочек, расположенных в виде квадратной мозаики. Микроспектрофотометрические измерения показали, что их максимум составляет 502 нм – стержни, 380 нм – одиночные колбочки – и 478/565 нм – двойные конусы. Такие свойства могут обеспечить цветное зрение в широком спектральном диапазоне, включая УФ-свет в ближней зоне.

Двойные конусы 478/565 нм позволяют рыбе обрабатывать информацию, как из одного спектра, так и из другого одним участком нейронов. Это дает возможность использовать светодиоды в одном из диапазонов. Стержни обрабатывают спектр света в районе 502 нм, который соответствует области максимального проникновения длины волны света на глубину.

Промысел на свет осуществляется в ночное время, следовательно, глаз рыбы в это время обрабатывает информацию одиночными колбочками 380 нм и при проникновении света в 478 нм, а в лунную ночь – 502 нм. В дневное время сайра обрабатывает информацию в диапазоне 502 нм и 565 нм [4].

Самое главное – это то, что сайра не обрабатывает красный свет, из физики океана известно, что красный свет проникает в воду на глубину максимум 5 см. Если мы посмотрим на рисунок 6 спектра и распределения мощности излучения, то



**Рисунок 3.** Относительная спектральная световая эффективность зрения сайры [1]

Figure 3. Relative spectral light efficiency of saury vision [1]

она вся и для светодиодов и для металло-галогенных ламп сосредоточена в области недоступной сайре. Таким образом, просто значительная энергия тратится впустую.

Возникает вопрос о применении красного света на промысле сайры, который применяется на последнем этапе, какую он выполняет функцию. Практика показывает, что в тех случаях, когда при переводе сайры в зону выборки, внезапно гасли огни на всем судне, реакция сайры была идентична включению красного света. Поскольку красный свет проникает на небольшую глубину, то мощная лампа красного света фактически при включении выполняет функцию «шторки» и сайра попадает в область полного затемнения.

Наличие в глазе сайры специализированной пигментированной перегородки (шторки), которая, как предполагают, выполняет функцию светозащитного экрана [4], показывает, что при ярком свете в спектре 478 нм и 502 нм сайры будет использовать светозащитный экран. Поэтому на промысле сайру переводить быстро с одного борта вредно, поскольку объект должен адаптироваться и выйти в режим работы защитного экрана. До этого сайра ориентируется в слабом свете в диапазоне спектра 380-478 нм.

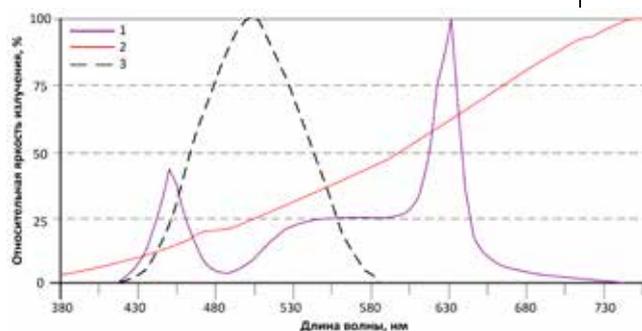
Соответственно, это регламентирует выбор спектра светодиодов, схема выбора показана на рисунке 5, где пунктиром показана область реакции сайры на свет, по данным работы [1], для всего спектра, воспринимаемого в течение суток. Поэтому предлагается использовать диапазон, воспринимаемый сайрой в ночное время – 478, 502 нм [4]. Если использовать синий светодиод с 490 нм, как среднее значение (478-502 нм), то, как можно заметить, при 100% токе и 85% токе мощность излучения светодиода будет идентичная. Фактически можно использовать ток и меньше 75%, значение интенсивности упадет на 0,1. Также нужно отметить, что выбор такого светодиода позволяет получить световой поток сильнее на 502 нм, по сравнению с 478 нм, что аналогично интенсивности восприятия сайрой света, приведенной в работе [1] (рис. 5, показано пунктирной линией).

Таким образом, использование предложенных синих светодиодов 490 нм позволит сократить затраты на электроэнергию в 7-9 раз, что примерно на столько же снизит и расходы на топливо.

Поэтому разработка источников света с использованием светодиодов синего цвета является перспективным направлением по повышению эффективности отечественного рыболовства, которое должно обеспечить увеличение вылова, а также позволит сократить затраты топлива и, соответственно, уменьшить углеродную составляющую (выбросы CO<sub>2</sub>).

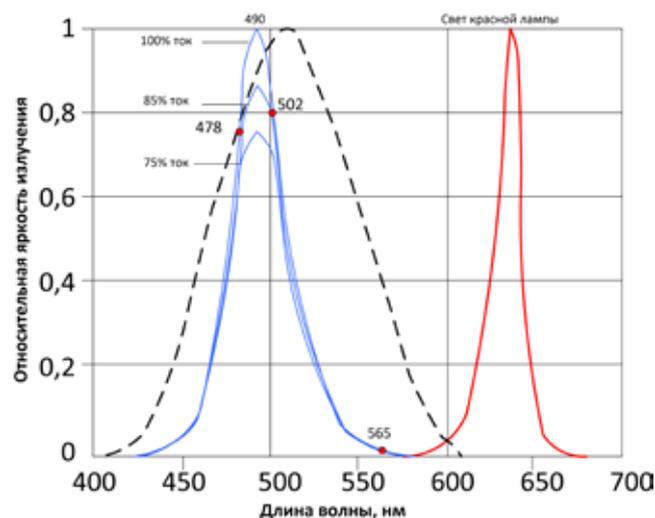
#### ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Arimoto T. Fish Behaviour and Visual Physiology in Capture Process of Light Fishing. // The ASEAN-SEAFDEC Conference on Sustainable Fisheries for Food Security towards 2020
2. Wozniak B., Dera J. Light Absorption in Sea Water. N.Y.: Springer Science + Business Media, LLC, 2007. – 454 p.
3. Мизюркин М.А. Результативность промысла сайры судами, ос-



**Рисунок 4.** Сравнительный спектр излучения галогенных люстр 2 и светодиодных блоков 1, состоящих из источников белого и красного свечения [3] и реакцией сайры [1]

**Figure 4.** Comparative emission spectrum of halogen chandeliers 2 and LED blocks 1 consisting of white and red glow sources [3] and the saury reaction [1]



**Рисунок 5.** Диаграмма спектра света с предлагаемым выбором светодиода  
**Figure 5.** Light spectrum diagram with suggested LED selection

нащенными различными источниками света. / М.А. Мизюркин, А.П. Жук, О.Н. Кручинин, Ю.В. Еремин и другие // Рыбное хозяйство – 2019. – № 1. – С. 30-34.

3. Misurkin M. A. the Performance of saury fishing vessels equipped with different light sources. / M. A. Misurkin, A. P. Zhuk, O. N. Kruchinin, V. Eremin and others // fisheries – 2019. – No. 1. – Pp. 30-34.

4. Кондрашев С.Л. Особенности строения глаза и спектральная чувствительность фоторецепторов сетчатки сайры Cololabis saira. / С.Л. Кондрашев, В.П. Гнубкина // Биология моря. – 2011. – том 37 – № 2 – с. 134-141.

4. Kondrashev, S. L. the structural features of the eye and the spectral sensitivity of the photoreceptors of the retina saury Cololabis saira. / S. L. Kondrashev, V. P. Gubkina // Biology of the sea. - 2011. - volume 37 - No. 2 - Pp. 134-141.

5. Еремин Ю.В., Будоянов Д.А., Балло А.В., Касьяненко В.В., Осипов Е. В., Филатов В.Н., Мизюркин М.А., Волотов В.М., Ваккер Н.Л., Журавлев В. И. Способ привлечения гидробионтов, положительно реагирующих на свет. // Патент России RU 2710988C1, 2020, Бюл. № 2. 5. Eremin Yu.V., Budoyanov D.A., Ballo A.V., Kasyanenko V.V., Osipov E. V., Filatov V.N., Mizyurkin M.A., Volotov V.M., Vakker N.L., Zhuravlev V. I. Method of attracting hydrobionts that react positively to light. // Russian Patent RU 2710988C1, 2020, Byul. No. 2.