

ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ TECHNICAL AND NATURAL SCIENCES

Научная статья

УДК 639.2

<https://doi.org/10.24143/1812-9498-2022-1-7-15>

Совершенствование промысла водных биоресурсов, обладающих положительной реакцией на свет, при использовании синих светодиодов

*А. Н. Бойцов¹, С. В. Лисиенко^{2✉}, Е. В. Осипов³,
Т. М. Бойцова⁴, Д. Г. Наумов⁵, В. В. Баринов⁶*

¹⁻⁶Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
Владивосток, Россия, lisenkosv@mail.ru[✉]

Аннотация. Проведено исследование эффективности различных источников света и их спектра в процессе промышленного вылова гидробионтов. За основу предлагаемого метода увеличения объемов вылова была взята разработанная японскими учеными программа по использованию светодиодов с белым, зеленым и синим светом и наблюдению за реакцией облавливаемых гидробионтов. В практике российского промышленного рыболовства отсутствуют данные о реакции гидробионтов на спектр света и об эффективности использования белых светодиодов, изготовленных на основе ультрафиолетовых. Приведен обзор работ по реакции на световой спектр различных гидробионтов, обитающих в разных экологических нишах, установлено, что все рассмотренные гидробионты (сельдь, минтай, сайра и пр.) максимально реагируют на синий спектр света, что позволяет использовать светодиоды синего цвета в качестве источников света в промышленном рыболовстве. Проведены эксперименты в заливе Петра Великого (Приморский край, Россия) с применением лампы погружного типа с четырьмя светодиодами синего цвета. Объектами исследования были выбраны гидробионты, обитающие в разных экологических нишах: камбала и тихоокеанский кальмар. Промысел камбалы никогда не велся с применением света, а тихоокеанский кальмар – традиционный объект промысла с применением света. В результате экспериментов объемы вылова кальмара увеличились на 32–40 %, с добавочным судовым освещением – на 35–42 %; уловы камбалы увеличились на 167–172 % в вечернее время и до 211 % – в ночное.

Ключевые слова: промысел, свет, лампа, световой поток, спектр, реакция гидробионтов, синие светодиоды, диапазон

Для цитирования: Бойцов А. Н., Лисиенко С. В., Осипов Е. В., Бойцова Т. М., Наумов Д. Г., Баринов В. В. Совершенствование промысла водных биоресурсов, обладающих положительной реакцией на свет, при использовании синих светодиодов // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2022. № 1 (73). С. 7–15. <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2022-1-7-15>.

Original article

Improvement of fishing water bioresources with positive reaction to light when using blue leds

*A. N. Boitsov¹, S. V. Lisienko^{2✉}, E. V. Osipov³,
T. M. Boitsova⁴, D. G. Naumov⁵, V. V. Barinov⁶*

¹⁻⁶The Far Eastern State Technical Fisheries University,
Vladivostok, Russia, lisenkosv@mail.ru[✉]

Abstract. The article presents the results of the study on the effectiveness of different light sources and their spectrum in commercial catching the aquatic organisms. The proposed method for increasing catch volumes was based on a program of using LEDs with white, green and blue light and monitoring the reaction of the caught aquatic organisms developed by Japanese scientists. In the practice of Russian commercial fishing there are no data found on the response of aquatic organisms to the spectrum and the effectiveness of using white LEDs that were made on the basis of ultraviolet LEDs. There has been given the review of works investigating the reaction to the light spectrum of various hydrobionts living in different ecological niches. It has been found that all hydrobionts under study (herring, pollock, saury, etc.) actively react to the blue spectrum of color, which makes it possible to use blue LEDs as light sources in commercial fishing. Experiments were carried out in Peter the Great Bay (Primorsky Krai, Russia) using a submersible lamp with four blue LEDs. Hydrobionts living in different ecological niches (flounder and Pacific squid) were selected as the objects of study. The flounder has never been fished with light, and Pacific squid is traditionally caught by using light. As a result of experiments, squid catch volumes increased by 32-40%, with additional ship lighting - by 35-42%; flounder catches increased by 167-172% in the evening and up to 211% at night.

Key words: fishing, light, lamp, luminous flux, spectrum, reaction of aquatic organisms, blue LEDs, range

For citation: Boitsov A. N., Lisienko S. V., Osipov E. V., Boitsova T. M., Naumov D. G., Barinov V. V. Improvement of fishing water bioresources with positive reaction to light when using blue leds. *Vestnik of Astrakhan State Technical University*. 2022;1 (73):7-15. (In Russ.) <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2022-1-7-15>.

Введение

Повышение эффективности рыболовства является одним из приоритетов развития рыбного хозяйства. В российском рыболовстве давно используются источники света для ведения различных видов промысла: сайры, кальмара, кильки. В последние годы в мировом рыболовстве с появлением светодиодов заметно повысилась эффективность промысла. В России на Дальнем Востоке использование светодиодов, к сожалению, совпало со снижением уловов традиционных объектов промысла на свет – сайры и кальмара, хотя по результатам отдельных предварительных исследований было установлено, что применение светодиодов достаточно эффективно. Из анализа различных работ по исследованию реакции на свет гидробионтов установлено, что можно создавать универсальные источники света на основе светодиодов синего цвета, на которые положительно реагируют многие гидробионты, что объясняется общими физическими процессами распространения света в воздушной и водной средах, поэтому разработка источников света с использованием светодиодов синего цвета является перспективным направлением повышения эффективности российского рыболовства, увеличения вылова, а также сокращения затрат топлива и, соответственно, уменьшения углеродной составляющей (выбросов CO₂).

Материал и методика

Исследование влияния на реакцию гидробионтов источников света с применением светодиодов проводилось по литературным данным, отражающим результаты проводившихся в российском и японском рыболовстве работ.

При разработке источников светового излучения использовались известные методы расчета светодиодных схем. Оценка светового излучения определялась люксметром.

Исследования по применению светодиодных подводных источников проводились в летний период 2021 г. в заливе Петра Великого. В ходе исследования проводили эксперименты по облову камбал,

которые не облавливаются с использованием света, и тихоокеанского кальмара, который традиционно облавливается на свет. Подсчет гидробионтов велся только поштучно, без взвешивания, для камбал не производилась видовая сортировка, т. к. основной целью исследования было обоснование применения светодиодов узкого спектра света и возможность их работы на маломерных судах. Для облова камбалы и тихоокеанского кальмара использовались крючковые орудия рыболовства.

Результаты исследований и их обсуждение

В настоящее время на промысле гидробионтов, реагирующих на свет, стали использоваться светодиодные лампы, что было напрямую связано с необходимостью экономии электроэнергии. Такая программа была начата в Японии в 2004 г. [1]. На промысле сайры в начальный период использовались металлгидридные лампы, которые потребляли 638 кВт, затем стали использовать светодиоды с зеленоватым спектром и сократили количество металлгидридных ламп при общей мощности 522 кВт. Далее металлгидридные лампы исключили, и потребляемая мощность светодиодов составила 145 кВт, при этом использовались белые светодиоды на основе синего и зеленые светодиоды. В дальнейшем исследования были направлены на снижение светового потока, при условии обеспечения уловистости, путем замены белых светодиодов зелеными, таким образом была достигнута потребляемая мощность в 65 кВт.

Сокращение мощности не могло проводиться только за счет снижения количества ламп, привлекались результаты исследований восприятия облавливаемых гидробионтов светового спектра [1]. Подобные исследования велись давно [2], при этом как в России, так и в других странах они не носили практической направленности для задач рыболовства. Но с появлением светодиодов на этот аспект обратили внимание, что было связано с применением в начальный период белых светодиодов. Сравнение интенсивности спектров различных видов ламп приведено на рис. 1.

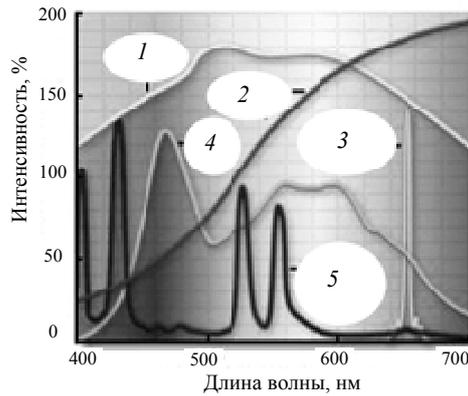


Рис. 1. Графики спектров ламп и солнечного света:
 1 – дневной свет; 2 – лампы накаливания; 3 – лазер;
 4 – белый светодиод на основе синего светодиода; 5 – ртутные лампы

Fig. 1. Graphs of lamp and sunlight spectra:
 1 - daylight; 2 - incandescent lamps; 3 - laser; 4 - white LED based on blue LED; 5 - mercury lamps

В настоящее время белые светодиоды производятся в основном на основе синего светодиода, с применением специальных преобразователей (покрытие люминофором) со смещением спектра в сторону красного цвета (см. рис. 1). 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 происходит изменение интенсивности светового потока в основном в си-

нем диапазоне спектра. Проходя воду, световой поток слабеет вследствие поглощения и рассеяния (рис. 2), которые определяются по формуле

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

где I_0 – начальный световой поток; $(\chi_\lambda + k_\lambda)$ – показатель ослабления света; χ_λ – показатель рассеивания; k_λ – показатель поглощения; z – глубина.

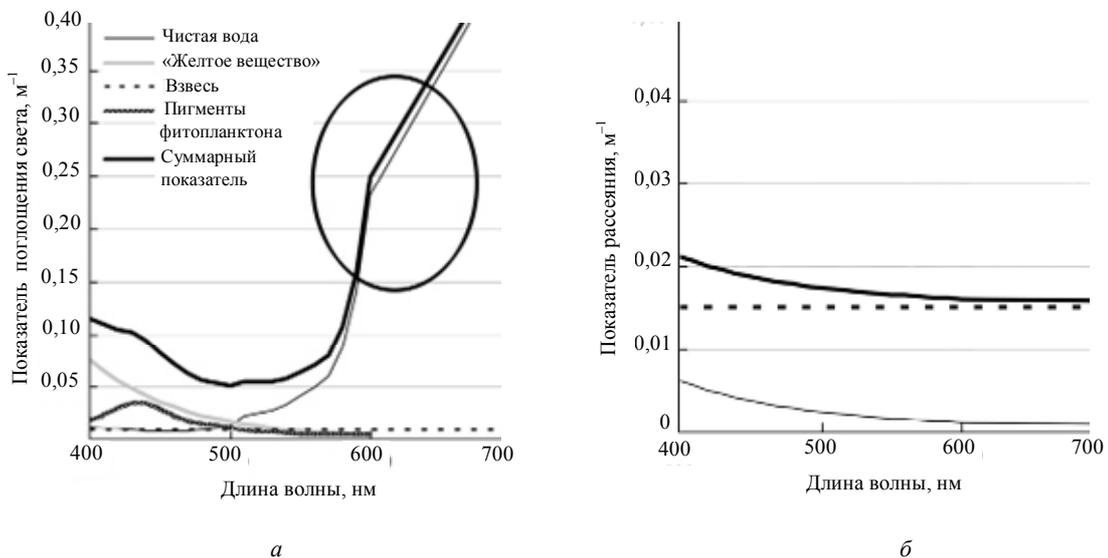


Рис. 2. Зависимость показателя поглощения (а) и рассеивания света (б) в морской воде от длины волны [3]

Fig. 2. Dependence of the coefficient of light absorption (a) and scattering (б) on a wavelength [3]

Очевидно (рис. 2 и формула (1)), что на самую большую глубину распространяется синий спектр света (500 нм), поскольку он имеет наименьший показатель поглощения.

Результаты исследования максимальной реакции различных гидробионтов и человека на длину световой волны показаны на рис. 3

Бойцов А. Н., Лисенко С. В., Осипов Е. В., Бойцова Т. М., Наумов Д. Г., Баринов В. В. Совершенствование промысла водных биоресурсов, обладающих положительной реакцией на свет, при использовании синих светодиодов

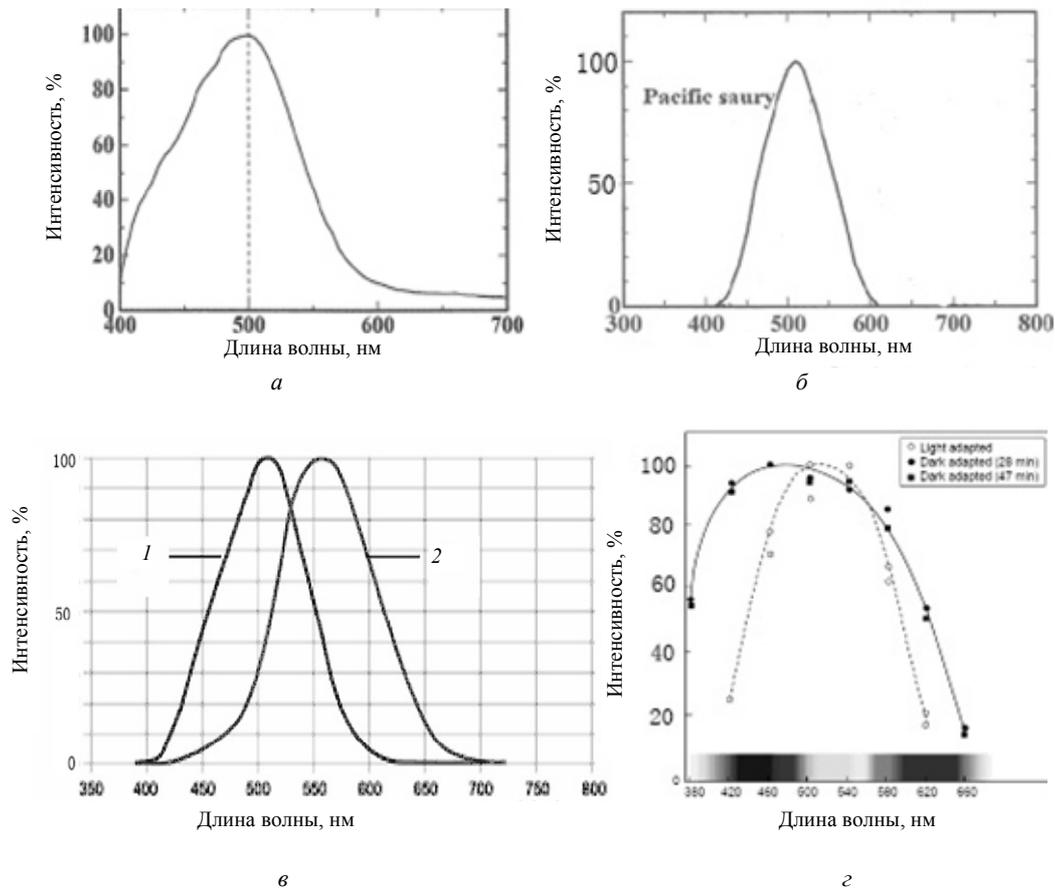


Рис. 3. Относительная спектральная световая эффективность зрения:
 а – тихоокеанской сельди [4]; б – сайры [4];
 в – человека (1 – в сумерки и ночью, 2 – дневное зрение); з – минтая [1]

Fig. 3. Relative spectral luminous efficiency of vision:
 а - Pacific herring [4]; б - saury [4];
 в - human (1 - at twilight and at night, 2 - daytime vision); з - pollock [1]

Как можно заметить, у сайры, минтая, сельди графики сходны, и пики находятся в области синего спектра. Реакция других гидробионтов на длину волны: для кальмара пик 480 нм [5], для криля пик 450 нм [6], анчоусов – 492–502 нм [7], для японской скумбрии (*Scomber japonicus*) максимум поглощения родопсина – 500 нм [8], для леща (*Oplegnathus fasciatus*) максимум поглощения родопсина 500 нм [9], камбалы – 437–527 нм [10] с пиком в районе 472 нм [11], для дальневосточных лососевых – 434–565 нм с пиками в районе 508–510 нм [12], для раков (*Procambarus clarkii*) пик в районе 500 нм [2], для крабов 420–460 нм [13]. Диапазон синего цвета у гидробионтов совпадает и со зрительной реакцией человека в сумеречном диапазоне (рис. 3, в), что соответствует условиям ночного промысла гидробионтов с применением света.

У выловленных особей кальмара, согласно исследованию [5], пигменты срезов сетчатки нахо-

дятся в области, не адаптированной к яркому свету. Таким образом, реакция хищных гидробионтов находится в области синего света, но со слабой яркостью, что позволяет использовать меньшее количество светоизлучателей и, соответственно, снижать общие затраты на свет. Обнаруженный при исследовании людей эффект Пуркинье связан с обработкой слабого света в монохромном режиме – палочками, которые наиболее чувствительны к синезеленому спектру света, при этом сам синий свет в условиях слабой освещенности кажется ярким, а большинство рыб в основном видят в монохромном свете.

В настоящее время светодиоды могут производиться для излучения в узком диапазоне спектра. Таким образом, на промысле можно использовать синие светодиоды, которые излучают свет в диапазоне 430–510 нм, который оптимально подходит для большинства гидробионтов (рис. 4).

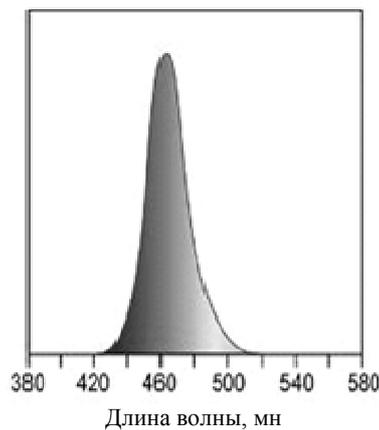


Рис. 4. Спектральный диапазон синего светодиода

Fig. 4. Spectral range of blue LED

В таблице приведены сравнения светового потока ламп различных типов, представленного линейной зависимостью, которую запишем уравнениями:

– лампа накаливания:

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

– лампа люминесцентная:

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

– лампа светодиодная:

$$\Phi = 0,010 \cdot W + 0,9192; R^2 = 0,998. \quad (4)$$

Сравнительная характеристика светового потока различных типов ламп

Comparative characteristics of the luminous flux of different types of lamps

| Лампа накаливания, Вт | Светодиодная лампа, Вт | Люминесцентная (ртутная) лампа, Вт | Световой поток, лм |
|-----------------------|------------------------|------------------------------------|--------------------|
| 25 | 3 | 5 | 250 |
| 40 | 5 | 9 | 400 |
| 60 | 8 | 13 | 650 |
| 100 | 14 | 20 | 1 300 |
| 150 | 22 | 35 | 2 100 |

На российском промысле сайры и кальмара в настоящее время используются люминесцентные лампы, при этом их эффективность, лм/Вт, близка к простым светодиодам, но срок службы в 3–4 раза ниже, при этом у люминесцентных ламп снижение светового потока происходит намного быстрее, чем у светодиодных ламп, поэтому замена люминесцентных ламп на светодиоды позволяет значительно снизить затраты на ведение промысла. Однако световой поток различных ламп содержит достаточно широкий спектр света, поэтому для определения потока света этих ламп (см. рис. 1 и 3) в диапазоне синего светодиода (см. рис. 4) методом интегрирования получили коэффициенты использования k_{BL} для лампы накаливания – 0,06; лампы ртутной люминесцентной – 0,01. Расчет светового потока производится по формуле

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

где L_{BL} – световой поток синего светодиода.

Исходя их расчетов (2)–(4), чтобы достигнуть эффективности светодиодной лампы в 22 Вт по синему цвету светового потока в 2 100 лм, необходимо иметь лампы накаливания мощностью 2 326 Вт или люминесцентные лампы мощностью 3 236 Вт, поэтому при применении люминесцентных ламп на промысле сайры и кальмара пришлось значительно увеличивать затраты на электроэнергию с целью повышения эффективности вылова.

Дальневосточный российский промысел развивался так же, как и в Японии, но в итоге решено было остановиться на применении светодиодов совместно с галогенными лампами [14]. Согласно [14, с. 34], «... среднесуточный вылов у судов, оснащенных галогенными люстрами и светодиодными блоками, выше, чем у судов, оснащенных только лампами накаливания или светодиодными блоками». По результатам исследования [14] спектра ламп на российских судах следует, что белые светодиоды были изготовлены на основе ультрафиолетового светодиода (рис. 5), в результате чего в области реакции сайры на свет 480–510 нм (см. рис. 3) яркость излучения была минимальная, 7–10 %.

Бойцов А. Н., Лисенко С. В., Осипов Е. В., Бойцова Т. М., Наумов Д. Г., Баринов В. В. Совершенствование промысла водных биоресурсов, обладающих положительной реакцией на свет, при использовании синих светодиодов

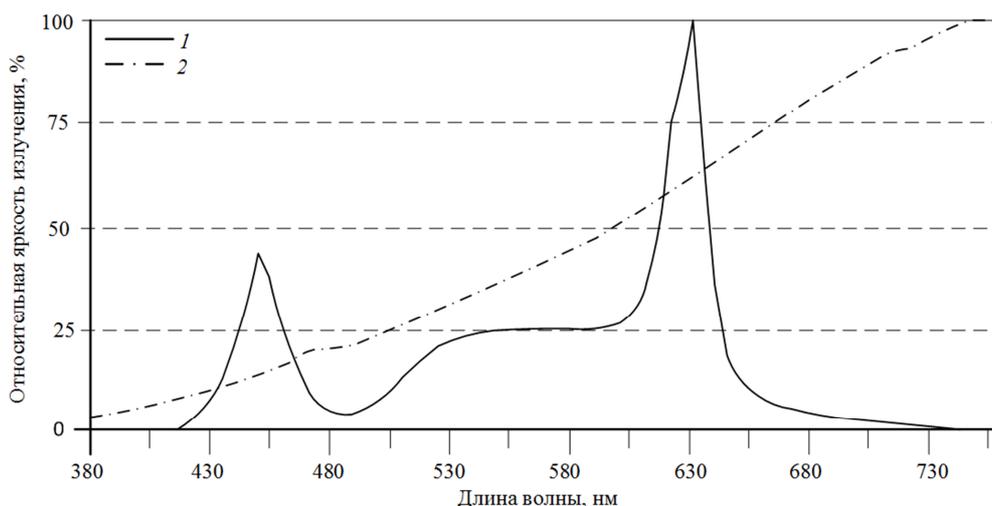


Рис. 5. Спектры излучения светодиодных блоков, состоящих из источников белого и красного свечения (1) и галогенных люстр (2) [14]

Fig. 5. Emission spectra of LED blocks consisting of white sources and red glow (1), and halogen chandeliers (2) [14]

Галогенные лампы в спектре реакции сайры имеют яркость от 20 до 27 %. Следует отметить, что в начале 70-х гг. XX в. на российских судах сайрового лова достаточно успешно использовались лампы накаливания с синей оболочкой, переводившей световой поток в спектр синего света. Но мощность ламп накаливания ограничена, и российская промышленность стала, по примеру японского промысла, использовать люминесцентные лампы разных конструкций.

Из приведенных выше результатов исследований следует, что использование светодиодов синего спектра позволит задействовать реакцию практически всех гидробионтов. Для проверки этих выводов были изготовлены подводные светильники с 4 светодиодами с общим питанием 12 В, подсоединенных параллельно, каждый при номиналь-

ном токе 700 мА потребляемой мощностью 3 Вт. Особенность светодиодов – это работа в щадящем и в максимальном режиме. В максимальном режиме без охлаждения светодиод может нагреваться и ломаться, поэтому ток был выбран меньше 400 мА, при этом яркость составила 170–180 лм.

Объектами проведения сравнительных испытаний были выбраны камбала, которая в практике не ловится с применением источников света, и тихоокеанский кальмар, который является традиционным объектом промысла на свет. Промысел камбалы и кальмара осуществлялся с применением крючковых орудий рыболовства.

Испытания проводились в заливе Петра Великого с маломерного судна в летний период 2021 г. (рис. 6), источник света опускался на глубину 10–15 м.

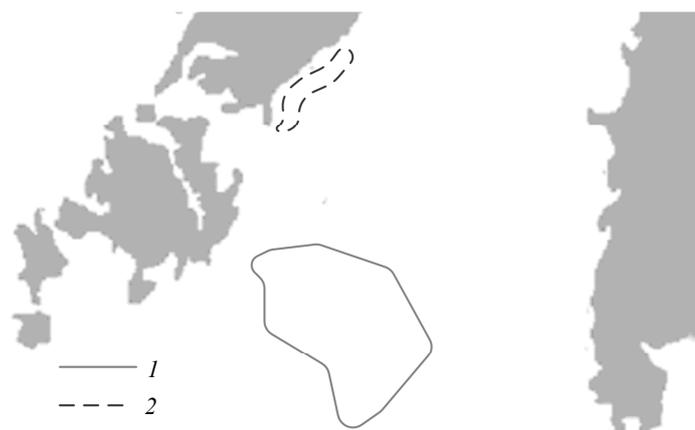


Рис. 6. Районы промыслово-экспериментальных станций: 1 – кальмар; 2 – камбала

Fig. 6. Areas of fishing experimental stations: 1 - squid; 2 - flounder

Промысел осуществлялся как в вечерние часы (сумерки), так и в ночное время.

С применением экспериментального освещения улов кабалы в вечерние часы (сумерки) увеличился до 167–172 %, а в ночное время до 185–211 %.

На промысле кальмара в стандартной схеме использовался свет от судовых огней, который в сумме по расчету (см. табл.) давал 5 525 лм, а сумма четырех диодов – 680 лм. Уловы с включенным судовым освещением и с экспериментальной лампой увеличились на 35–42 %, а применение одной только экспериментальной лампы без судового освещения позволило увеличить улов на 32–40 %. Это подтверждает реакцию кальмара на заданный световой диапазон, при этом судовые огни вносили небольшой вклад при совместной работе, поскольку светили в полном спектре.

Заключение

По результатам исследования выявлено, что синие светодиоды излучают свет в диапазоне волн, на который реагируют большинство гидробионтов, обитающих в различных экологических нишах. При этом синий свет проникает на большую глубину. Это позволяет использовать источники света на основе светодиодов синего света для облова

различных видов гидробионтов, унифицировав конструкции светодиодных ламп для разных типов промысла.

Для подтверждения обобщенных данных исследования была разработана конструкция светодиодной лампы для подводного использования. Эксперименты проводились на промысле камбал, которые в практике промысла не облавливаются с использованием света и обитают у дна, и тихоокеанского кальмара, который активно облавливается с использованием света. По результатам эксперимента, на источник света одного волнового диапазона активно реагируют как кальмар, так и камбала. Уловы камбалы выросли до 185–211 %, а кальмара – до 32–40 %, что подтверждает эффективность применения синих светодиодов для облова различных видов гидробионтов. В этой связи представляется необходимым проведение дальнейших системных исследований по применению синих светодиодов на промысле. Также представляется важным применение светодиодных светильников в марикультуре, поскольку хлорофилл выделяет наибольшее количество энергии в синем диапазоне спектра света, это позволит увеличить продуктивность при выращивании водорослей.

Список источников

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, May 6-10, 2020, Bangkok, Thailand. URL: http://www.seafdec.or.th/home/phocadownload/ICES-FAO-WGFTFB-2013/LIGHT-Mini-Symposium/7May_2_Arimoto_Fisurh_Behavior.pdf (дата обращения: 11.11.2021).
2. *Merle B., Kennedy D.* Spectral sensitivity of photoreceptor neurons in the sixth ganglion of the crayfish // *Comparative Biochemistry and Physiology*. 1962. N. 6. P. 41–46.
3. *Wozniak B., Dera J.* Light Absorption in Sea Water. N. Y.: Springer Science + Business Media, LLC, 2007. 454 p.
4. *Okamoto T., Takahashi K., Ohsawa H., Fukuchi K.-I., Hosogane K., Kobayashi S., Moniwa M., Sasa K., Yoshino H., Ishikawa H., Harada M., Asakura K.* Application of LEDs to Fishing Lights for Pacific Saury // *Journal of Light & Visual Environment*. 2008. N. 32. P. 88–92.
5. *Shikata T., Shima T., Inada H., Miura I., Daida N., Sadayasu K., Watanabe T.* Role of shaded area under squid jigging boat formed by shipboard fishing light in the processes of gathering and capturing Japanese common squid, *Todarodes pacificus* // *Nippon Suisan Gakkaishi*. 2011. N. 77. P. 53–60.
6. *Krafft B. A., Krag L. A.* Antarctic krill (*Euphausia superba*) exhibit positive phototaxis to white LED light // *Polar Biol*. 2021. N. 44. P. 483–489.
7. *Kondrashev S. L., Gnyubkina V. P., Zueva L. V.* Structure and spectral sensitivity of photoreceptors of two anchovy species: *Engraulis japonicus* and *Engraulis encrasicolus* // *Vision Research*. 2012. N. 68. P. 19–27.
8. *Jang J. C., Choi M. J., Yang Y. S., Lee H. B., Yu Y. M., Kim J. M.* Dim-light photoreceptor of chub mackerel *Scomber japonicus* and the photoreponse upon illumination with LEDs of different wavelengths // *Fish Physiol. Biochem*. 2016. N. 42. P. 1015–1025.
9. *Jang J. C., Noh G. E., Kim Y. R., Yu Y. M., Kim J. M.* Spectral sensitivity and photoreponse in the rock bream *Oplegnathus fasciatus* and their relationships with the absorption maximum of the photoreceptor // *Fish Physiol. Biochem*. 2019. N. 45. P. 1759–1769.
10. *Savelli I., Flamarique I. N., Iwanicki T., Taylor J. S.* Parallel opsin switches in multiple cone types of the starry flounder retina: tuning visual pigment composition for a demersal life style // *Scientific Reports*. 2018. N. 8. P. 4763.
11. *Flamarique I. N., Fujihara R., Yazawa R., Bolstad K., Gowen B., Yoshizaki G.* Disrupted eye and head development in rainbow trout with reduced ultraviolet (sws1) opsin expression // *Journal of Comparative Neurology*. 2021. V. 529. N. 11. P. 3013–3031.
12. *Cheng Ch., Flamarique I., Hárosi F., Rickers-Haunerland J., Haunerland N.* Photoreceptor layer of salmonid fishes: Transformation and loss of single cones in juvenile fish // *The Journal of Comparative Neurology*. 2006. N. 495. P. 213–35. DOI: 10.1002/cne.20879.
13. *Jessop A.-L., Ogawa Y., Bagheri Z., Partridge J., Hemmi J.* Photoreceptors and diurnal variation in spectral sensitivity in the fiddler crab *Gelasimus dampieri* // *Journal of Experimental Biology*. 2020. N. 223 (23). jeb230979. DOI: 10.1242/jeb.230979.
14. *Мизюркин М. А., Жук А. П., Кручинин О. Н., Еремин Ю. В., Буслов А. В., Волотов В. М., Ваккер Н. Л., Филатов В. Н., Захаров Е. А., Сытов А. М.* Результативность промысла сайры судами, оснащенными различными источниками света // *Рыбное хозяйство*. 2019. № 1. С. 30–34.

References

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, May 6-10, 2020, Bangkok, Thailand*. Available at: http://www.seafdec.or.th/home/phocadownload/ICES-FAO-WGFTFB-2013/LIGHT-Mini-Symposium/7May_2_Arimoto_Fisurh_Behavior.pdf (accessed: 11.11.2021).
2. Merle V., Kennedy D. Spectral sensitivity of photoreceptor neurons in the sixth ganglion of the crayfish. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 1962, no. 6, pp. 41-46.
3. Wozniak B., Dera J. *Light Absorption in Sea Water*. New York, Springer Science + Business Media, LLC, 2007. 454 p.
4. Okamoto T., Takahashi K., Ohsawa H., Fukuchi K.-I., Hosogane K., Kobayashi S., Moniwa M., Sasa K., Yoshino H., Ishikawa H., Harada M., Asakura K. Application of LEDs to Fishing Lights for Pacific Saury. *Journal of Light & Visual Environment*, 2008, no. 32, pp. 88-92.
5. Shikata T., Shima T., Inada H., Miura I., Daida N., Sadayasu K., Watanabe T. Role of shaded area under squid jigging boat formed by shipboard fishing light in the processes of gathering and capturing Japanese common squid, *Todarodes pacificus*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 2011, no. 77, pp. 53-60.
6. Krafft B. A., Krag L. A. Antarctic krill (*Euphausia superba*) exhibit positive phototaxis to white LED light. *Polar Biology*, 2021, no. 44, pp. 483-489.
7. Kondrashev S. L., Gnyubkina V. P., Zueva L. V. Structure and spectral sensitivity of photoreceptors of two anchovy species: *Engraulis japonicus* and *Engraulis encrasicolus*. *Vision Research*, 2012, no. 68, pp. 19-27.
8. Jang J. C., Choi M. J., Yang Y. S., Lee H. B., Yu Y. M., Kim J. M. Dim-light photoreceptor of chub mackerel *Scomber japonicus* and the photoreponse upon illumination with LEDs of different wavelengths. *Fish Physiol. Biochem.*, 2016, no. 42, pp. 1015-1025.
9. Jang J. C., Noh G. E., Kim Y. R., Yu Y. M., Kim J. M. Spectral sensitivity and photoreponse in the rock bream *Oplegnathus fasciatus* and their relationships with the absorption maximum of the photoreceptor. *Fish Physiol. Biochem.*, 2019, no. 45, pp. 1759-1769.
10. Savelli I., Flamarique I. N., Iwanicki T., Taylor J. S. Parallel opsin switches in multiple cone types of the starry flounder retina: tuning visual pigment composition for a demersal life style. *Scientific Reports*, 2018, no. 8, pp. 4763.
11. Flamarique I. N., Fujihara R., Yazawa R., Bolstad K., Gowen B., Yoshizaki G. Disrupted eye and head development in rainbow trout with reduced ultraviolet (sws1) opsin expression. *Journal of Comparative Neurology*, 2021, vol. 529, no. 11, pp. 3013-3031.
12. Cheng Ch., Flamarique I., Hárosi F., Rickers-Haunerland J., Haunerland N. Photoreceptor layer of salmonid fishes: Transformation and loss of single cones in juvenile fish. *The Journal of Comparative Neurology*, 2006, no. 495, pp. 213-35. DOI: 10.1002/cne.20879.
13. Jessop A.-L., Ogawa Y., Bagheri Z., Partridge J., Hemmi J. Photoreceptors and diurnal variation in spectral sensitivity in the fiddler crab *Gelasimus dampieri*. *Journal of Experimental Biology*, 2020, no. 223 (23), jeb230979. DOI: 10.1242/jeb.230979.
14. Miziurkin M. A., Zhuk A. P., Kruchinin O. N., Eremin Iu. V., Buslov A. V., Volotov V. M., Vakker N. L., Filatov V. N., Zakharov E. A., Sytov A. M. Rezul'tativnost' promysla sairy sudami, osnashchennymi razlichnymi istochnikami sveta [Efficiency of saury fishing by vessels equipped with various light sources]. *Rybnoe khoziaistvo*, 2019, no. 1, pp. 30-34.

Статья поступила в редакцию 09.12.2021; одобрена после рецензирования 12.01.2022; принята к публикации 29.04.2022
The article is submitted 09.12.2021; approved after reviewing 12.01.2022; accepted for publication 29.04.2022

Информация об авторах / Information about the authors

Анатолий Николаевич Бойцов – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры промышленного рыболовства; Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет; boytsov.an@dgtru.ru

Светлана Владимировна Лисиенко – кандидат экономических наук, доцент; заведующий кафедрой промышленного рыболовства; Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет; lisienkosv@mail.ru

Евгений Валерьевич Осипов – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры промышленного рыболовства; Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет; oev@mail.ru

Татьяна Марьяновна Бойцова – доктор технических наук, профессор; профессор кафедры промышленного рыболовства; Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет; boytsova.tm@dgtru.ru

Anatoly N. Boitsov – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Industrial Fisheries; The Far Eastern State Technical Fisheries University; boytsov.an@dgtru.ru

Svetlana V. Lisienko – Candidate of Economics, Assistant Professor; Head of the Department of Industrial Fisheries; The Far Eastern State Technical Fisheries University; lisienkosv@mail.ru

Evgeny V. Osipov – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Industrial Fisheries; The Far Eastern State Technical Fisheries University; oev@mail.ru

Tatiana M. Boitsova – Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Industrial Fisheries; The Far Eastern State Technical Fisheries University; boytsova.tm@dgtru.ru

Дмитрий Геннадьевич Наумов – аспирант кафедры промышленного рыболовства; Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет; hunter.13@mail.ru

Василий Владимирович Баринов – кандидат технических наук; доцент кафедры промышленного рыболовства; Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет; barinov.vv@dgtru.ru

Dmitriy G. Naumov – Postgraduate Student of the Department of Industrial Fisheries; The Far Eastern State Technical Fisheries University; hunter.13@mail.ru

Basil V. Barinov – Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department of Industrial Fisheries; The Far Eastern State Technical Fisheries University; barinov.vv@dgtru.ru

