

Научная статья
УДК 639.2
<https://doi.org/10.24143/2073-5529-2022-4-74-81>
EDN FLFQPS

Использование светодиодов синего цвета на промысле гидробионтов в целях повышения эффективности промысла

А. Н. Бойцов, С. В. Лисиенко , Е. В. Осипов,
Т. М. Бойцова, Д. Г. Наумов, В. В. Баринов*

*Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
Владивосток, Россия, lisienkosv@mail.ru**

Аннотация. Работа является развитием комплексных исследований по применению светодиодов синего спектра с учетом литературных данных и собственных исследований авторов. Показано, что реакция на свет связана со стимулированием пищевой активности гидробионтов, представляет собой комплекс факторов, определяющих поведение гидробионтов в проявлении реакции при движении к источнику света. Свет в области синего цвета распространяется на самые большие расстояния от источника, поэтому в ходе эволюции животные и растения в большей степени реагируют на свет в этом диапазоне. Следовательно, использование светодиодов синего спектра света стимулирует всю трофическую пищевую цепь: фитопланктон (рост фитопланктона за счет мощного поглощения энергии света хлорофиллом *a*, *b* и каратиноидами в синем спектре света) → зоопланктон (привлекается в область синего света на основе рефлекса о наличии корма) → гидробионты, питающиеся зоопланктоном (привлекаются в область синего света на основе рефлекса о наличии корма) → хищные гидробионты (также привлекаются в область синего света на основе рефлекса о наличии корма). Предложена методика выбора длины волны света светодиода для оптимизации светового источника с учетом спектральной чувствительности фоторецепторов, с одновременным увеличением срока работы светодиодов за счет снижения силы тока, что позволяет дополнительно увеличить длительность работы автономных источников света. На основе такого природоподобного подхода и выбора спектра света обосновано применение синих светодиодов для промысла традиционных объектов лова на свет – сайры и кальмара, – а также других гидробионтов, которые не добывались с применением света: крабов, камбал и корюшки. Это позволяет в дальнейшем использовать данный подход к применению света для добычи других, ранее не добывавшихся с помощью света, гидробионтов, а также оптимизировать источники света на добыче традиционных объектов, таких как килька.

Ключевые слова: спектр света, реакция гидробионтов, синие светодиоды, сайра, краб, кальмар, камбала, корюшка

Для цитирования: *Бойцов А. Н., Лисиенко С. В., Осипов Е. В., Бойцова Т. М., Наумов Д. Г., Баринов В. В.* Использование светодиодов синего цвета на промысле гидробионтов в целях повышения эффективности промысла // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство.* 2022. № 4. С. 74–81. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2022-4-74-81>. EDN FLFQPS.

Original article

Using blue LEDs for more effective harvesting aquatic species

A. N. Boitsov, S. V. Lisienko , E. V. Osipov,
T. M. Boitsova, D. G. Naumov, V. V. Barinov*

*The Far Eastern State Technical Fisheries University,
Vladivostok, Russia, lisienkosv@mail.ru**

Abstract. The article highlights the development of the complex research on using blue spectrum LEDs, taking into account the literature data and the authors' own research. Reaction to light is shown related to stimulating the food

activity of aquatic organisms. This is a complex of factors that determine the behavior of aquatic organisms moving towards a light source. Light in the blue segment of spectrum travels the longest distances from the source, so animals and plants have evolved to respond more to the light in this segment. Therefore, using blue LEDs stimulates the entire trophic food chain: phytoplankton (phytoplankton growth due to the effective absorption of light energy by chlorophylls *a*, *b* and carotenoids in this spectrum) → zooplankton (attracted to the blue light segment due to the reflex about the food presence) → hydrobionts eating zooplankton (attracted to the blue light segment because of the food reflex) → predatory aquatic organisms (also attracted to the blue light segment due to the food reflex). There has been proposed a method of choosing the LED wavelength to optimize the light source subject to the spectral sensitivity of photoreceptors, increasing the LED life with a decreased current, which helps improve the autonomous source life. Based on the nature-like approach and the choice of the light spectrum, using blue LEDs is found reasonable for fishing traditional light-fishing commercial species (saury and squid), as well as other hydrobionts that haven't been caught using light before (crab, flounder and smelt). This approach allows to use light for catching other aquatic organisms not previously harvested by using light, as well as optimize light sources in fishing traditional commercial species (kilka).

Keywords: light spectrum, reaction of hydrobionts, blue LEDs, saury, crab, squid, flounder, smelt

For citation: Boitsov A. N., Lisenko S. V., Osipov E. V., Boitsova T. M., Naumov D. G., Barinov V. V. Using blue LEDs for more effective harvesting aquatic species. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry. 2022;4:74-81.* (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2022-4-74-81>. EDN FLFQPS.

Введение

Совершенствование промысла водных биологических ресурсов является одним из приоритетов развития рыбного хозяйства страны. Одним из направлений развития промысла является использования биологических стимулов, используя которые можно управлять поведением гидробионтов и эффективно, со снижением затрат, их облавливать. Промысел гидробионтов на свет широко развит в России, это, как правило, традиционные объекты лова: сайра, килька и кальмар. В то же время с развитием светодиодов, которые имеют очень малые затраты электроэнергии и могут излучать свет в четком заданном спектре, применение света для лова других гидробионтов расширилось.

Материал и методика

Исследование развития источников света с применением светодиодов и реакцией различных видов гидробионтов в световом спектре проводилось по литературным данным [1–12]. При разработке источников светового излучения использовались известные методы расчета светодиодных схем [13]. Собственные работы по применению светодиодных подводных источников проводились в летний и зимний период 2021 и 2022 гг. в заливе Петра Великого, а по крабу – в Охотском море в 2018 г. Данные экспериментов обрабатывались статистическими методами.

Результаты исследований и их обсуждение

Исследования по сокращению затрат путем использования светодиодных ламп в Японии были начаты с 2004 г., и на одном только промысле сайры это позволило сократить затраты на генерацию электроэнергии в 9–10 раз [1].

Особенностью светодиодов, в отличие от других источников света, является возможность излучения в определенном диапазоне спектра. В начальный период белые светодиоды применялись как в России, так и за рубежом, это не дало большого эффекта, поскольку белые светодиоды производятся в основном на основе синего или ультрафиолетового светодиода с нанесением люминофора в смещение спектра в сторону красного цвета, при этом потеря мощности излучения может составлять до 20 %. Поэтому исследователи обратили внимание на спектр света, на который наиболее эффективно реагируют гидробионты [1]. Следует отметить, что исследования по спектру света, воспринимаемого гидробионтами, велись давно [2], при этом как в России, так и в других странах это не носило практической направленности для задач рыболовства.

Как показал анализ зависимости максимальной реакции различных гидробионтов от длины световой волны [14], эта зрительная реакция лежит в диапазоне 400–570 нм, с пиками в области 450–510 нм. Рассмотрим применение светодиодов на промысле традиционных объектов лова (сайра, кальмар) и при промысле перспективных объектов лова (камбала, краб, лосось, корюшка).

Основным рефлексом в период нагула гидробионтов является питательный, при этом многие объекты питания (в основном зоопланктон) обладают биолюминесценцией в диапазоне 440–506 нм [4], что позволяет хищникам легко находить их. А объект питания зоопланктона – фитопланктон – быстрее растет в диапазоне длин волн света 400–500 нм за счет большого роста хлорофилла *a*, *b*, *c*, *d* и каротиноидов (рис. 1).

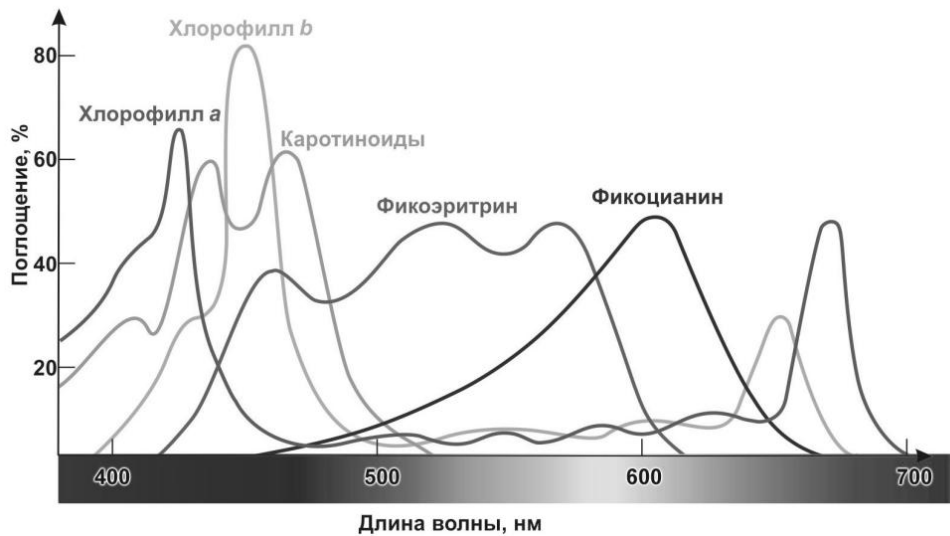


Рис. 1. Спектры поглощения фотосинтетических пигментов [4]

Fig. 1. Spectra of photosynthetic pigments absorption [4]

Таким образом, использование светодиодов синего цвета стимулирует всю трофическую пищевую цепь: фитопланктон → зоопланктон → гидробионты, питающиеся зоопланктоном, → хищные гидробионты. Поэтому биoluminesценция зоопланктона, возможно, стимулирует рост фитопланктона, который зоопланктон потребляет.

Промысел сайры на свет. У сайры относительно крупные глаза с развитым аппаратом аккомодации и областью повышенной остроты зрения на сетчатке (fovea) [5]. Во внутренней камере глаза имеется специализированная пигментированная перегородка (шторка), предположительно выполняющая функцию светозащитного экрана [6]. Сетчатка содержит множество палочек, одиночных и двойных колбочек, расположенных в виде квадратной мозаики. Микроспектрофотометрические измерения сетчатки показали, что максимум поглощения света для стержней составляет 502 нм, одиночных колбочек – 380 нм, двойных конусов – 478/565 нм [5]. Такие свойства могут обеспечить цветовое зрение в широком спектральном диапазоне, включая УФ-свет в ближней зоне. Двойные конусы у сайры позволяют рыбе обрабатывать информацию как из одного спектра (478 нм), так и из другого (565 нм) одним участком нейронов. Это позволяет использовать светодиоды с заданным спектром в одном из диапазонов. Стержни обрабатывают спектр света в районе 502 нм, который соответствует области максимального проникновения длины волны света на глубину [13]. Промысел на свет осуществляется в ночное время, следовательно, глаз рыбы в это время обрабатывает световую информацию одиночными колбочками с длиной волны 380 нм и двойными конусами с длиной волны 478 нм, а в лунную ночь – стержнями

с длиной волны 502 нм. В дневное время сайра обрабатывает информацию в диапазоне 502 и 565 нм [4], в то же время при длительном переводе сайры в зону облова происходит адаптация сайры к свету, по данным работы [1], это происходит через 117 минут. При неадаптированном глазе сайры к свету во время перевода она может выходить из освещенной области, за счет чего происходят потери объема уловов, особенно это заметно в носовой или кормовой части судна. Для решения этой проблемы в этих местах надо сайру дополнительно удерживать прожектором с диапазоном света 470–510 нм.

Как можно отметить, сайра не реагирует на красный свет (630–760 нм), однако ранее и в настоящее время на завершающем этапе ее облова используются лампы красного цвета, которые способствуют быстрой реакции сайры к поверхностной концентрации. Поскольку красный свет проникает на небольшую глубину, мощная лампа красного цвета фактически при включении выполняет функцию «шторки», и сайра попадает в область полного затемнения. Это приводит к хаотическому движению, и в этом случае сайра теряет чешуйки, повреждается, чешуйки попадают в рот, забивают жабры, часть рыбы залегает и теряет качество. Поэтому использованием светодиодов сине-зеленого света (500–530 нм) и регулировкой светового потока сайру можно сконцентрировать у поверхности и при этом удерживать ее достаточно продолжительное время, в отличие от красного спектра света, без потери качества улова [13].

На рис. 2 приведены диаграммы спектра длин волн двух светодиодов – 490 и 510 нм. Для привлечения сайры предлагается использовать синий светодиод с длиной волны 490 нм, поскольку его

диаграмма позволяет воспринять сайрой свет от этого светодиода с неадаптированным зрением двойными конусами 478 нм и стержнями 502 нм. При этом (рис. 2) диаграмма светодиода 490 нм

при 100 и 85 % токе яркость излучения светодиода для привлечения сайры будет идентичная, можно использовать и меньше ток (75 %), значение относительной яркости упадет на 0,1 [15].

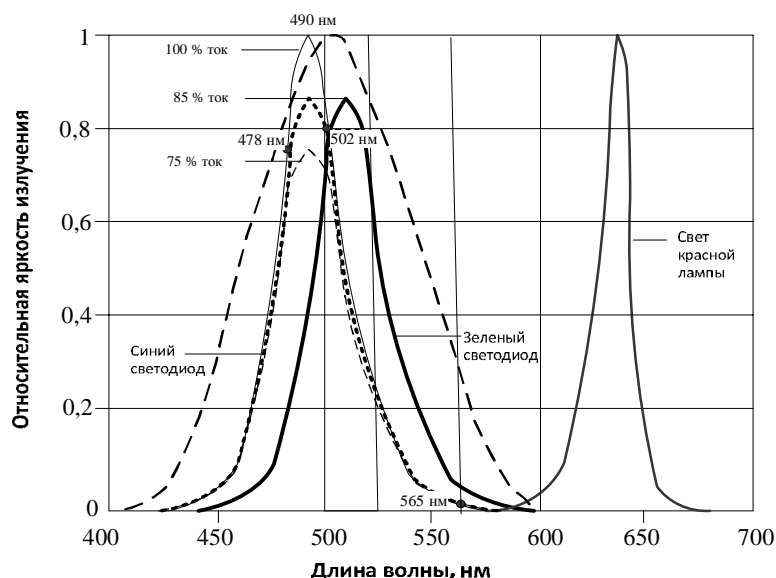


Рис. 2. Диаграмма спектра света светодиодов с длиной волны 490 нм (синий) и 510 нм (зеленый), красной лампы (пунктиром показан спектр, воспринимаемый сайрой [13])

Fig. 2. Diagram of the light spectrum of LEDs with a wavelength of 490 nm (blue) and 510 nm (green), a red lamp (a dotted line shows the spectrum perceived by saury [13])

Это позволяет экономить затраты на топливо и продлить срок службы светодиодов. В свою очередь, зеленый светодиод выберем с 510 нм, это позволит эффективно поддерживать максимальную реакцию сайры на свет при 502 нм и обеспечивать зрение сайры в адаптированной области.

Промысел краба. В настоящее время крабы добываются ловушками различной формы с использованием приманки, однако проведенные эксперименты [6–9] показали, что краб-стригун привлекается к ловушкам с помощью света. С выходом первых публикаций о возможности привлечения краба-стригуна к ловушкам на свет были проведены исследования на судах компании «Восток-1» на промысле глубоководного японского краба-стригуна. Исследования с помощью подводных камер показали, что глубоководные крабы не реагируют на свет (использовались синие, зеленые и белые светодиоды), а в большей степени ориентируются на запах наживки. В работах [6, 7, 9] было показано, что краб привлекается на свет при использовании белого и синего светодиода, с повышением уловов на 77 %, на зеленый светодиод реакция отсутствовала, а фиолетовый цвет мог отпугивать, но на больших глубинах краб привлекался фиолетовым цветом, и увеличение уловов составило 47 %. Как показано в работе [10], крабы неглубоководные реагируют на

длины волн 420–460 нм, что соответствует спектру синего светодиода (см. рис. 1) и спектру белого светодиода, который изготовлен на основе синего светодиода и не попадает в область зеленого светодиода (см. рис. 1). При этом эксперименты показали [6, 7], что исключение наживки и использование только света не дает высоких уловов. Это можно объяснить совокупностью факторов и особенностей поиска крабами пищи, поскольку, как правило, жертва для краба доступна, если она уже не двигается или движется плохо, а наживка издает запах, которую могут уже объедать бентосные организмы, имеющие биолюминесценцию в диапазоне 440–506 нм [3]. Поэтому наличие запаха наживки и свет, сигнализирующий о ее поедании бентосными организмами, создает у краба ярко выраженный рефлекс, а свет определяет конкретную цель, снижая время на поиск приманки, поэтому просто присутствие света показывает крабу наличие бентосных организмов, ее могут питаться, но не дает большого эффекта. Конечно, в случае скудности пищи световая приманка работает и без запаховой, однако, как отслеживать такое состояние краба, пока неизвестно.

На рис. 3 показана лампа для привлечения краба, которая использовалась во всех описанных выше экспериментах и сегодня предлагается для промышленного промысла.

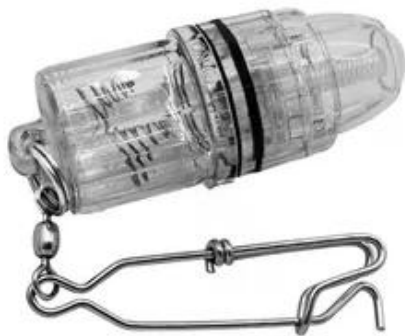


Рис. 3. Лампы для привлечения краба

Fig. 3. Lamps for attracting crabs

Лампа имеет блок для хранения двух батареек АА и двух светодиодов с корпусом многократного преломления света. В результате свет распространяется в области 360°, что приводит к потере необходимого направленного потока света для улавливания крабами.

Поэтому с учетом движения краба по грунту и анализа используемых на промысле конструкций крабовых конических ловушек предложена схема размещения направленного источника света с углом светового потока в 45° (рис. 4).

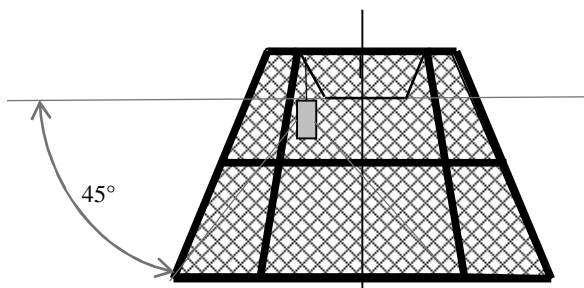


Рис. 4. Угол светового потока с учетом параметров ловушки

Fig. 4. Angles of the light flux taking into account the trap parameters

В отличие от других источников света светодиоды имеют точную направленную область излучения, поэтому световой поток распределяется у них

с помощью линз, конструкция которой показана на рис. 5.

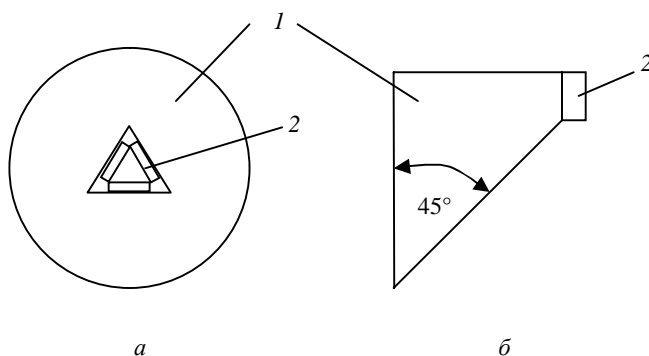


Рис. 5. Конструкция линзы лампы для промысла крабов: вид сверху (а), вид сбоку в разрезе одного сектора (б): 1 – линза; 2 – светодиод

Fig. 5. Design of the lamp lens for fishing crabs: top view (а), side view in the section of one sector (б): 1 – lens; 2 – LED

Как показано в работе [14], использование светодиодов синего спектра позволит задействовать реакцию практически всех гидробионтов. Для проверки данных выводов была разработана симметричная лампа [14] с 4 светодиодами с общим пита-

нием 12 В, подсоединенными параллельно, каждый при номинальном токе 700 мА, потребляемой мощностью 3 Вт, с пластиковым куполом; на рис. 6 показана кривая силы ее света в относительных единицах (I/I_{\max}).

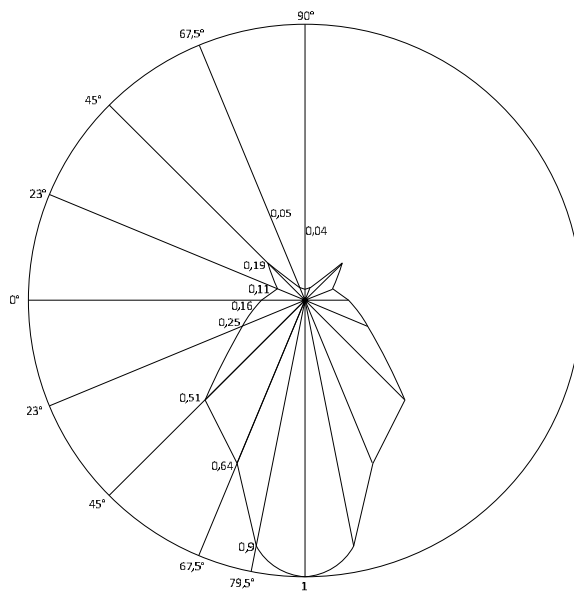


Рис. 6. Кривая силы света симметричной лампы

Fig. 6. Light intensity curve of a symmetrical lamp

Для длительной работы светодиодов ток был выбран меньше 400 мА, при этом максимальная яркость составила 170–180 лм.

Исследования проводились в летний и зимний период, в летний период облавливалась камбала, которая имеет диапазон восприятия 437–527 нм [6] с пиком около 472 нм [7] и в практике рыболовства не ловится с применением источников света, и тихоокеанский кальмар, который является традиционным объектом промысла на свет и имеет диапазон восприятия 480 нм (максимум) [11]. С применением экспериментального освещения улов камбалы в вечерние часы (сумерки) увеличился на 167–172 %, а в ночное время на 185–211 % [14]. Уловы кальмара 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 % [14].

В зимний период эксперименты проводились на промысле корюшки в Амурском заливе, во льду бурились лунки на расстоянии от источника света 5, 10 и 15 м. Испытания проводились в темное время суток в течение 5 дней. Спектр воспринимаемого света корюшки – в диапазоне 425–565 нм с максимумом 516 нм [12]. Исследования показали, что общий вылов с применением лампы (см. рис. 6) увеличился на 152–178 %, при этом вылов в 5 м от источника света составил 10–15 %, в 10 м – 45–50 %, в 15 м – 40–45 % от общего улова. Уловы на расстоянии 10 и 15 м от

источника света намного больше улова на расстоянии 5 м, это говорит о том, что корюшка привлекается к источнику света, но в основном находится в зоне света с меньшей яркостью.

В 2021 г. в зимний период проводились исследования применения точечных источников света на вентерях, которые имели отрицательный результат. Проведенные исследования с одним точечным источником света показали, что применение на традиционных конструкциях вентерей источников света требует учета концентрации объекта с помощью дополнительных приборов, поскольку большая часть рыбы находится в неадаптированной области, которая может быть больше, чем вход в вентерь.

Заключение

Проведенные обзоры литературы и промысловые испытания показали, что гидробионты, обитающие в разных экологических нишах, реагируют на свет в диапазоне волн синего спектра света. Побудительным фактором для реакции на свет гидробионтов является питательный рефлекс, поэтому использование синего света стимулирует всю трофическую пищевую цепь: фитопланктон → зоопланктон → гидробионты, питающиеся зоопланктоном, → хищные гидробионты.

Рассмотрено применение синих светодиодов на промысле сайры, крабов, кальмаров, камбал и корюшки. Показано, что синий диапазон волн спек-

тра света работает на этапе привлечения объектов, т. к. задействуется область сумрачного зрения при выходе гидробионтов из темноты. А удержание гидробионтов вокруг источников света происходит при адаптации к свету, в этих случаях необходимо использовать светодиоды в области максимальной длины волны, воспринимаемой гидробионтом.

Исследование дает новое представление об использовании света при применении разных типов орудия лова, которое включает диапазон видимых волн света, распределение источников света и изменение интенсивности света на привлечение гидробионтов.

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, Bangkok, Thailand (2020). 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. Haddock S., Case J. Bioluminescence spectra of shallow and deep-sea gelatinous zooplankton: Ctenophores, medusae and siphonophores // *Marine Biology*. 1999. N. 133. P. 571–582.
4. Грин Н., Стаут У., Тейлор Д. Биология: в 3 т. / под ред. П. Сопера. М.: Мир, 1990. Т. 1. 368 с.
5. Кондрашев С. Л., Гнубкина В. П. Особенности строения глаза и спектральная чувствительность фоторецепторов сетчатки сайры *Cololabis saira* // *Биология моря*. 2011. Т. 37. № 2. С. 134–141.
6. Nguyen K. Q., Winger P. D., Morris C., Grant S. M. Artificial lights improve the catchability of snow crab (*Chionoecetes opilio*) traps // *Aquaculture and Fisheries*. 2017. V. 2. Iss. 3. P. 124–133.
7. Nguyen K. Q., Humborstad O.-B., Løkkeborg S., Winger P. D., Bayse S. M. Effect of light-emitting diodes (LEDs) on snow crab catch rates in the Barents Sea pot fishery // *ICES Journal of Marine Science*. 2019. V. 76. Iss. 6. P. 1893–1901.
8. Nguyen Kh., Bayse Sh., Donovan M., Winger P., Løkkeborg S., Humborstad O. Increased catches of snow crab (*Chionoecetes opilio*) with luminescent-netting pots at long soak times // *Fisheries Research*. 2020. N. 230. DOI: 10.1016/j.fishres.2020.105685.
9. Naimullah M., Lan K., Ikhwannuddin M., Amin-Safwan A., Lee Wei-Yu. Unbaited Light-Emitting Diode

Traps Performance for Catching Orange Mud Crabs // *Journal of Marine Science and Technology*. 2022. V. 30. Iss. 1. Article 5. DOI: 10.51400/2709-6998.2565 <https://jmst.ntou.edu.tw/journal/vol30/iss1/5>.

10. Jessop A., 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. DOI: 10.1242/jeb.230979.

11. 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.

12. Кондрашев С. Л., Гнубкина В. П. Спектральная чувствительность фоторецепторов сетчатки азиатской корюшки *Osmerus dentex* Steindachner et Kner, 1870 // *Биология моря*. 2017. Т. 43. № 4. С. 256–262.

13. Okamoto T., Takahashi K., Ohsawa H., Fukuchi K.-I., Ho-sogane 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.

14. 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 // *Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та*. 2022. № 1 (73). С. 7–15.

15. Бойцов А. Н., Лисиенко С. В., Осипов Е. В., Бойцова Т. М., Наумов Д. Г., Баринов В. В., Комков А. С. Разработка инновационных источников света на основе светодиодов для промысла сайры // *Рыбное хозяйство*. 2022. № 1. С. 82–85.

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, Bangkok, Thailand (2020)*. 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 B., 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. Haddock S., Case J. Bioluminescence spectra of shallow and deep-sea gelatinous zooplankton: Ctenophores, medusae and siphonophores. *Marine Biology*, 1999, no. 133, pp. 571–582.
4. Grin N., Staut U., Teilor D. *Biologiia: v 3-kh t.* [Biology: in 3 volumes]. Pod redaktsiei R. Sopera. Moscow, Mir Publ., 1990. Vol. 1. 368 p.

5. Kondrashev S. L., Gniubkina V. P. Osobennosti stroeniia glaza i spektral'naia chuvstvitel'nost' fotoretseptorov setchatki сайры *Cololabis saira* [Structural features of eye and spectral sensitivity of retinal photoreceptors in saury *Cololabis saira*]. *Biologiia moria*, 2011, vol. 37, no. 2, pp. 134–141.

6. Nguyen K. Q., Winger P. D., Morris C., Grant S. M. Artificial lights improve the catchability of snow crab (*Chionoecetes opilio*) traps. *Aquaculture and Fisheries*, 2017, vol. 2, iss. 3, pp. 124–133.

7. Nguyen K. Q., Humborstad O.-B., Løkkeborg S., Winger P. D., Bayse S. M. Effect of light-emitting diodes (LEDs) on snow crab catch rates in the Barents Sea pot fishery. *ICES Journal of Marine Science*, 2019, vol. 76, iss. 6, pp. 1893–1901.

8. Nguyen Kh., Bayse Sh., Donovan M., Winger P., Løkkeborg S., Humborstad O. Increased catches of snow crab (*Chionoecetes opilio*) with luminescent-netting pots at

long soak times. *Fisheries Research*, 2020, no. 230. DOI: 10.1016/j.fishres.2020.105685.

9. Naimullah M., Lan K., Ikhwanuddin M., Amin-Safwan A., Lee Wei-Yu. Unbaited Light-Emitting Diode Traps Performance for Catching Orange Mud Crabs. *Journal of Marine Science and Technology*, 2022, vol. 30, iss. 1, article 5. DOI: 10.51400/2709-6998.2565 <https://jmstt.ntou.edu.tw/journal/vol30/iss1/5>.

10. Jessop A., 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. DOI: 10.1242/jeb.230979.

11. 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.

12. Kondrashev S. L., Gniubkina V. P. Spektral'naya chuvstvitel'nost' fotoretseptorov setchatki aziatskoi koriushki *Osmerus dentex* Steindachner et Kner, 1870 [Spectral sensitivity of photoreceptors in retina of Asian smelt *Osmerus*

dentex Steindachner et Kner, 1870]. *Biologiya moria*, 2017, vol. 43, no. 4, pp. 256-262.

13. Okamoto T., Takahashi K., Ohsawa H., Fukuchi K.-I., Ho-sogane 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.

14. Boitsov A. N., Lisienko S. V., Osipov E. V., Boitsova T. M., Naumov D. G., Barinov V. V. Sovershenstvovanie promysla vodnykh bioresursov, obladaiushchikh polozhitel'noi reaktsiei na svet, pri ispol'zovanii sinikh svetodiodov [Improving harvest of aquatic biological resources with positive reaction to light using blue LEDs]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2022, no. 1 (73), pp. 7-15.

15. Boitsov A. N., Lisienko S. V., Osipov E. V., Boitsova T. M., Naumov D. G., Barinov V. V., Komkov A.S. Razrabotka innovatsionnykh istochnikov sveta na osnove svetodiodov dlia promysla saury [Development of innovative light sources based on LEDs for saury fishery]. *Rybnoe khoziaistvo*, 2022, no. 1, pp. 82-85.

Статья поступила в редакцию 09.06.2022; одобрена после рецензирования 19.09.2022; принята к публикации 11.11.2022
The article is submitted 09.06.2022; approved after reviewing 19.09.2022; accepted for publication 11.11.2022

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

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

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

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

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

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

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

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