

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ



Дальневосточный государственный технический
рыбохозяйственный университет

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ РЫБОЛОВСТВА

Материалы Национальной
научно-технической конференции

(Владивосток, 17–18 мая 2023 г.)

Владивосток
Дальрыбвтуз 2023

ISBN 978-5-88871-770-7

© Дальневосточный государственный
технический рыбохозяйственный
университет, 2023

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ



Дальневосточный государственный технический
рыбохозяйственный университет

**НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ
РЕГУЛИРОВАНИЯ РЫБОЛОВСТВА**

**Материалы Национальной
научно-технической конференции**

(Владивосток, 17–18 мая 2023 г.)

Электронное издание

Владивосток
Дальрыбвтуз
2023

Евгений Валериевич Осипов

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, доцент кафедры «Промышленное рыболовство», канд. техн. наук, доцент, Россия, Владивосток, e-mail: oev@mail.ru

Екатерина Михайловна Осипова

ЦКП «Приморский океанариум», ННЦМБ ДВО РАН, канд. техн. наук, Россия, Владивосток, e-mail: osipova_em@primocean.ru

Обоснование применения светодиодов для повышения роста морских водорослей

Аннотация. Приводится обоснование применения света для увеличения роста морских водорослей в сооружениях морской аквакультуры. Проведен анализ спектра восприятия света различными типами хлорофиллов, каротиноидов. Определен оптимальный спектр света воздействия на все пигменты водорослей с длиной волны 430–500 нм, которая проникает и на большую глубину. Предложено использование светодиодов и показано размещение их на ярусных конструкциях морской аквакультуры.

Ключевые слова: аквакультура, ярусные конструкции, светодиоды, водоросли

Evgeny V. Osipov

Far Eastern State Technical Fisheries University, Associate Professor of the Department of Industrial Fisheries, PhD in Engineering Sciences, Associate Professor, Russia, Vladivostok, e-mail: oev@mail.ru

Ekaterina M. Osipova

Primorsky Aquarium Shared Equipment Facility of the A. V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences (NSCMB FEB RAS), PhD in Engineering Sciences, Russia, Vladivostok, e-mail: osipova_em@primocean.ru

Rationale for Using LEDs to Enhance Algae Growth

Abstract. The paper provides a rationale for the use of light to increase the growth of seaweed in marine aquaculture facilities. An analysis of the light perception spectrum of various chlorophylls, carotenoids was carried out and the spectrum of effective use of light with a wavelength of 430 - 500 nm was determined in order to involve all algae pigments, while, as the analysis of light penetration in water showed, the largest wave also penetrates in this range. The use of LEDs is proposed and their placement on longline structures of marine aquaculture is shown.

Keywords: aquaculture, longline structures, LEDs, algae

Проведенные в работе [1] исследования показали снижение и прекращение роста водорослей подо льдом, также отмечено, что во многих водорослях запускается процесс использования собственных ресурсов для поддержания жизни. Естественно, это приводит к их деградации, и затем при сходе льда определенный период эти водоросли набирают массу, соответственно, это увеличивает время начала их сбора. Решением данной задачи является использование искусственного освещения в виде светодиодов заданного спектра излучения и мощностью светового потока.

Наиболее массовыми водорослями в аквакультуре являются различные виды ламинарий, рост которых обусловлен работой фотосинтетических пигментов, по данным [2], для бурых водорослей соотношение показателя хлорофиллов и каротиноидов (Хл/Кар) достаточно стабильное, около 2, при этом с сентября по апрель количество их повышается, что связано со снижением интенсивности освещенности. Увеличение роста водорослей наблюдается при круглосуточном освещении в 2–2,5 раза (рис. 1), в то же время при увеличении температуры рост замедляется, что обусловлено проявлением эндогенных ритмов сезонного развития водорослей [1].

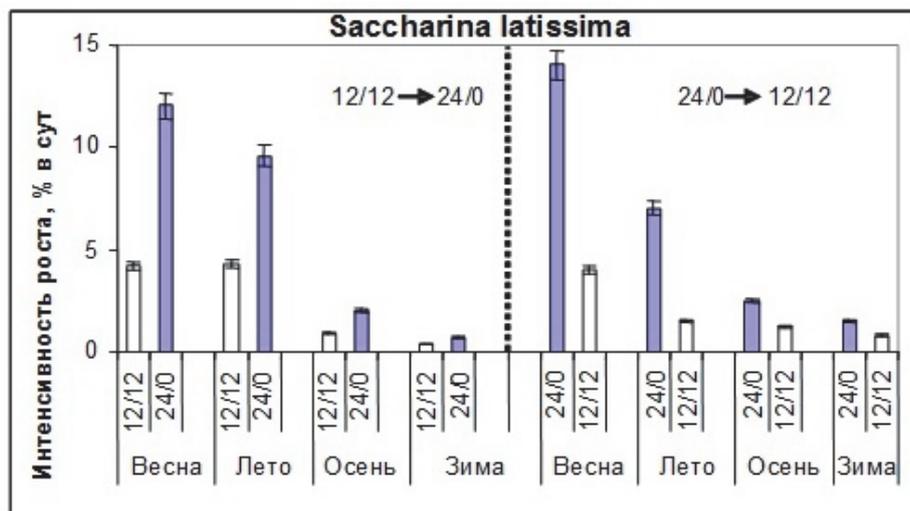


Рисунок 1 – Скорость роста водорослей при изменении фотопериода [1]

В технологии при двухгодичном выращивании ламинарии рекомендуется в бухтах, свободных ото льда, канаты с ламинарией в октябре–ноябре переводить ближе к поверхности на глубину 1–1,5 м, а в феврале–марте – на глубину 0,5 м, это позволяет увеличить массу выращиваемой ламинарии и ее структуру. Подо льдом рост ламинарии замедляется. Данные на рис. 1 (с учетом работы [3, 4]) показывают, что использование постоянного светового потока в определенные периоды года увеличивают скорость роста до 3 раз. Все это доказывает необходимость использования света при технологии выращивания ламинарии.

В процессе работы фотосинтетического аппарата водорослей задействованы хлорофиллы и каротиноиды, обобщенный спектр восприятия которых приведен на рис. 2.

В зависимости от мощности светового потока каротиноиды блокируют фотодеструкцию хлорофиллов, в то же время при низком освещении в сумерках (длина волны 430–520 нм) каротиноиды поглощают энергию света и передают ее молекуле хлорофилла **a**. В таблице приведены обобщенные данные по наличию пигментов в разных видах водорослей, что характеризует их распределение по глубине.

Хлорофилл **c** представляет собой форму хлорофилла, обнаруженную в некоторых морских водорослях, он имеет сине-зеленый цвет и является дополнительным пигментом, особенно важным для поглощения света в диапазоне длин волн 447–520 нм. Подобно хлорофиллу **a** и хлорофиллу **b** он помогает организму собирать свет и передает кванты энергии возбуждения через светособирающие антенны в реакционный центр фотосинтеза. У красных водорослей еще найден хлорофилл **d** с максимумами длин волн 400 нм, 450 нм и 697 нм, рис. 2 (кривая для хлорофилла **d** по данным [8]). Для той же ламинарии характерно наличие хлорофилла **c**, который, как показано на рис. 2, поглощает спектр света в одном диапазоне 380–480 нм, поэтому в процентах он больше других показан на графике.

Глубина поглощения света приведена с учетом прибрежных территорий, где присутствует большее содержание взвесей, чем в океане, но в настоящее время морская аквакультура ведется в прибрежных акваториях.

Для создания подводных источников света необходимо рассмотреть условия их эксплуатации и оптимизировать конструкции. Если использовать данные спектра солнечного света на планете Земля (рис. 2), то хлорофиллы и каротиноиды имеют адаптивную реакцию поглощения этого света в заданных спектрах, наибольший спектр лежит в области 450–520 нм, другой, но более слабый максимум – только для хлорофиллов в области 640–680 нм. В некотором смысле наличие разных видов хлорофиллов в водорослях отражает их экологическое место в экосистеме и распространение по глубине и районам.

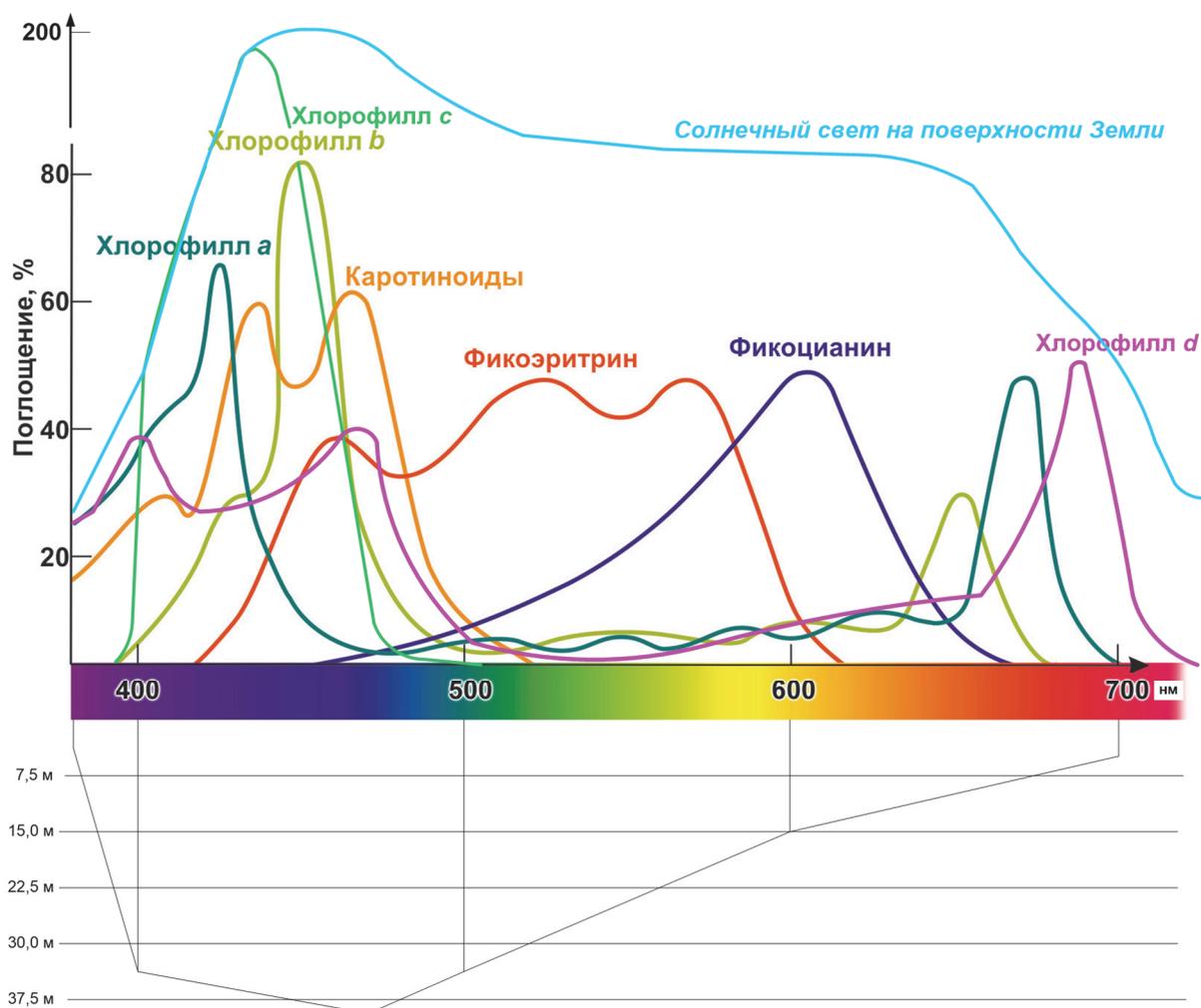


Рисунок 2 – Спектры поглощения фотосинтетических пигментов и распространение спектра по глубине

Виды пигментов в разных водорослях [9]

Водоросли	Хлорофиллы			Каротиноиды	Фикобилипротеины (фикоэритрин и фикоцианин)
	а	б	с		
Зеленые	+	+	-	+	-
Евгленовые	+	+	-	+	-
Диаматовые	+	-	+	+	-
Бурые	+	-	+	+	-
Криптофиты	+	-	+	+	+
Красные	+	-	-	+	+
Динофлагелляты	+	-	+	+	-

В настоящее время наиболее экономичными излучателями являются светодиоды. Используемые белые светодиоды производятся в основном на основе синего светодиода с применением специальных преобразователей (покрытие люминофором) в смещение спектра в сторону красного цвета с потерей до 20 % энергии [5–7]. 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 белого светодиода, силой тока, происходит изменение интенсивности светового потока в основном в синем или в фиолетовом диапазоне спектра [5].

Для выращиваемых бурых водорослей, таких как ламинария, у которой имеются хлорофиллы *a*, *c* и каротиноиды, имеет смысл излучать свет в диапазоне 430–500 нм, чтобы задействовать все пигменты водоросли. Это позволит не тратить энергию на излучение спектра, который не так сильно задействует пигменты водорослей.

Поскольку светодиоды производятся для излучения в заданном спектре длины волны, с учетом проведенного анализа для выращивания водорослей имеет смысл использовать спектр света в диапазоне 430–510 нм (рис. 3), который оптимально подходит для большинства водорослей, даже для красных.

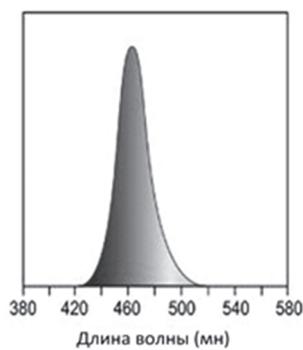


Рисунок 3 – Спектр синего светодиода

При этом можно заметить (рис. 2), что длина волны в предлагаемом спектре имеет наибольшее распространение в толще воды, это позволяет снизить затраты на электроэнергию при регулировании интенсивности излучения. На рис. 4 показано крепление светодиодных лент на ярусных линиях для выращивания водорослей.

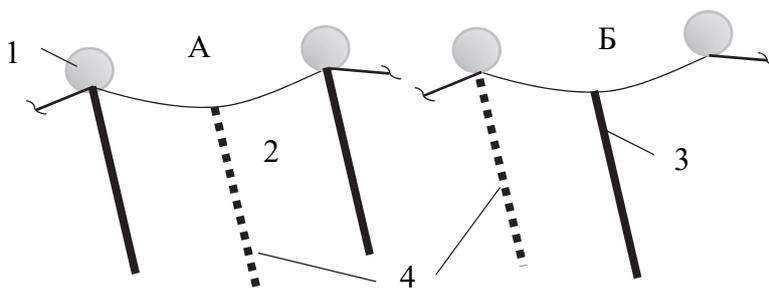


Рисунок 4 – Типы ярусных конструкций для выращивания водорослей:

1 – буй; 2 – хребтина; 3 – гирлянда; 4 – светодиодная лента

Дальнейшие исследования в данном направлении связаны с разработкой методов расчета интенсивности излучения и компоновки светодиодов с системой управления на основе биологических циклов водорослей. Выбранный спектр света позволяет создавать однообразные светодиодные системы, это снижает их стоимость и затраты на эксплуатацию, поскольку, как видно на рис. 2, выбранные спектры при меньших затратах электроэнергии обеспечивают нужную мощность освещения.

Библиографический список

1. Макаров М. В., Воскобойников Г. М. Влияние освещения и температуры на макроводоросли Баренцева моря // *Вопр. современной альгологии*. 2017. № 3(15). URL : <http://algology.ru/> 1183.
2. Макаров М. В. Адаптация водорослей Баренцева моря к условиям освещения : дис. ... доктора биол. наук по спец. 25.00.28 «Океанология». Мурманск, 2010. 359 с.
3. Yacobi, Yosef. (2012). From Tswett to identified flying objects: A concise history of chlorophyll a use for quantification of phytoplankton. *Israel Journal of Plant Sciences*. 60. 10.1560/IJPS.60.1-2.243.
4. Anthony W. D. Larkum, Michael Kühl. Chlorophyll d: the puzzle resolved. *Trends in Plant Science*. Vol. 10, Issue 8, August 2005. P. 355–357. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2005.06.005>.
5. 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.
6. 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 // *Вестник Астраханского гос. техн. ун-та. Серия: Рыбное хозяйство*. 2022. № 4. С. 74-81. DOI 10.24143/2073-5529-2022-4-74-81.
7. 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 гос. техн. ун-та*. 2022. № 1(73). С. 7–15.
8. Larkum W.D., Kuhl M. Chlorophyll d: the puzzle resolved // *TRENDS in Plant Science* Vol. 10, No.8, August 2005.
9. Минеева Н. М. Растительные пигменты в воде волжских водохранилищ. М., 2004.