

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СВЕТА НА РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ФОТОБИОРЕАКТОРА ДЛЯ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ

Малахов А.С.¹, Геворгиз Р.Г.², Железнова С.Н.²

¹ Национальный исследовательский Томский политехнический университет
пр. Ленина, 30, г. Томск, 634050, РФ; e-mail: mac89@mail.ru

² Институт морских биологических исследований им. А.О.Ковалевского РАН
пр. Нахимова, 2, г. Севастополь, 299011, РФ; e-mail: r.gevorgiz@yandex.ru, zheleznovavsveta@yandex.ru

Поступила в редакцию: 03.07.2018.

Аннотация. Приведены результаты светотехнического моделирования распределения светового потока на рабочей поверхности фотобиореактора для наиболее часто используемых источников излучения при культивировании микроводорослей. Из результатов видно, как освещенность в разных точках на поверхности фотобиореактора существенно отличается, что изменяет условия свет-темнота. Также показано, что несмотря на внешнее сходство излучаемого света от разных источников излучения, их спектральные составы не одинаковы. Это все оказывает существенное влияние на биосинтез у микроводорослей. Даны рекомендации по описанию световых условий при исследованиях интенсивных культур микроводорослей. Отмечено, что для равномерного распределения светового потока на рабочей поверхности фотобиореактора необходимо использовать светодиодные линейки. Не рекомендуется в качестве источника излучения использовать точечные источники излучения, например, лампы ДРЛ.

Ключевые слова: световой поток, светодиод, люминесцентная лампа, лампа ДРЛ.

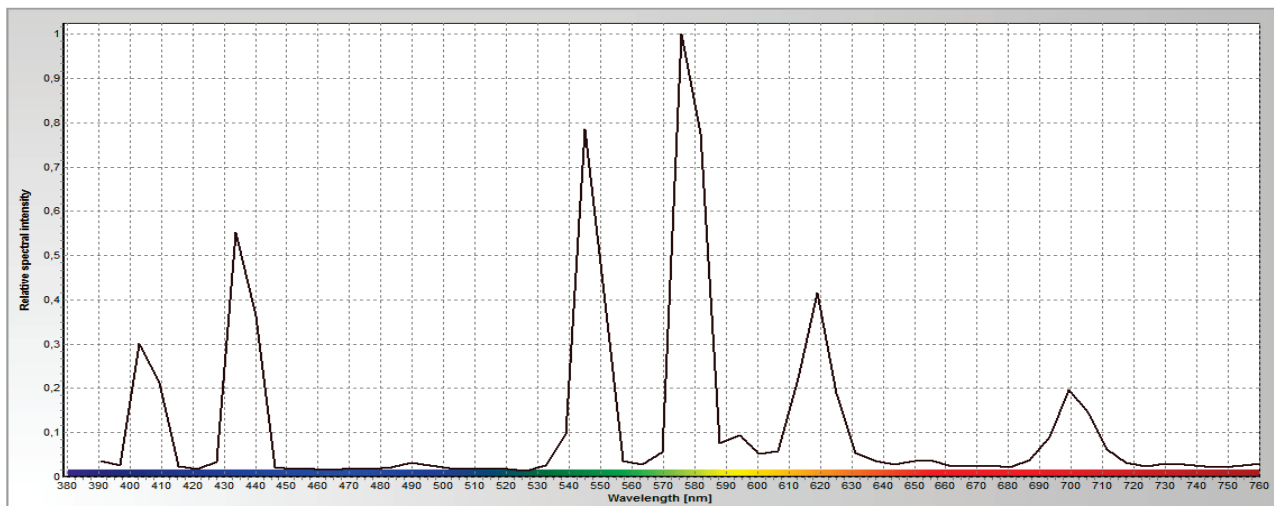
На сегодняшний день в литературе по исследованию влияния световых условий на культуры микроводорослей посвящено значительное число публикаций. В своих работах авторы описывают влияние света на различные внутриклеточные процессы, при этом в описании световых условий чаще всего ограничиваются указанием мощности источника излучения и его цветовой температуры, уровня освещенности рабочей поверхности и длительности периода свет-темнота. А такие важные характеристики как спектральный состав источника излучения и распределение светового поля на рабочей поверхности остаются без внимания. Например, на рисунке 1 представлены 3 источника белого света, у которых в значительной мере различаются спектральные характеристики, несмотря на внешнее сходство излучаемого света. Учитывая то, что спектральный состав света оказывает существенное влияние на биосинтез у микроводорослей [1-3], указание лишь цвета свечения явно недостаточно.

При использовании точечных источников излучения на поверхности фотобиореактора наблюдается неравномерность распределения светового потока. Неравномерность распределения светового потока на поверхности фотобиореактора по сути приводит к трудно формализуемому мерцанию потока излучения, в котором периоды свет-темнота в значительной мере зависят от плотности культуры и интенсивности перемешивания суспензии. В многочисленных публикациях экспериментально показано, что как мерцание, так и спектральный состав потока излучения могут оказывать существенное влияние на микроводоросли [4-6], поэтому для полноты описания световых условий эксперимента наряду с интенсивностью светового потока необходимо указывать спектральный состав и распределение светового потока на поверхности.

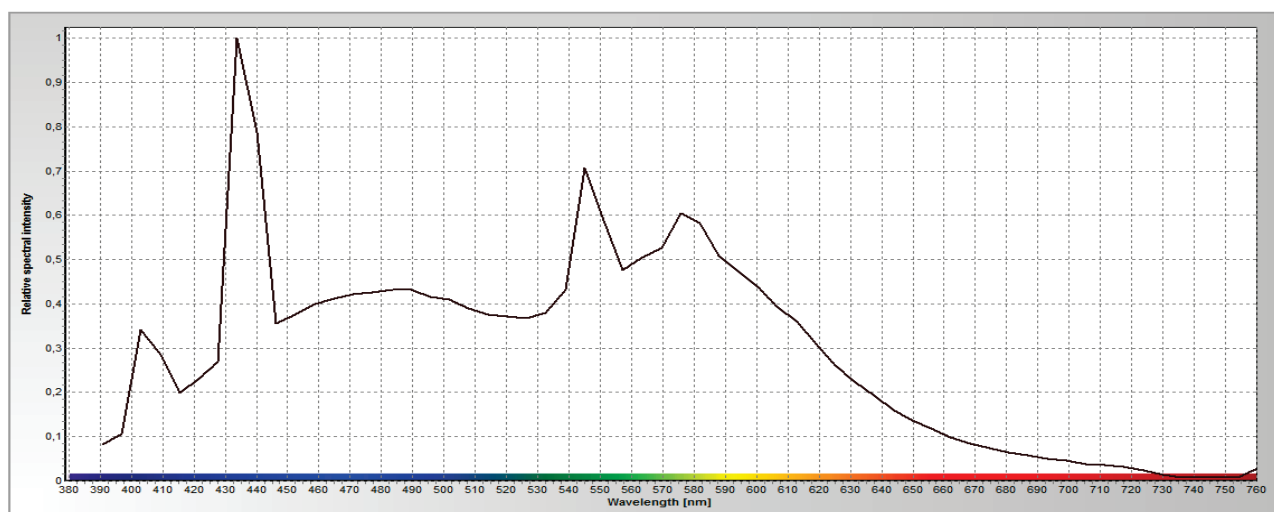
Цель данной работы – с помощью компьютерного моделирования показать распределение светового потока на рабочей поверхности фотобиореактора при использовании различных источников излучения для интенсивного культивирования микроводорослей.

Моделирование распределение светового потока на поверхности культиватора от осветительных установок было выполнено в программе для проектирования освещения DIALux, разработанной немецкой компанией DIAL GmbH и предназначенной для выполнения светотехнических расчетов и проектирования как внутреннего, так и внешнего освещения, которая распространяется бесплатно.

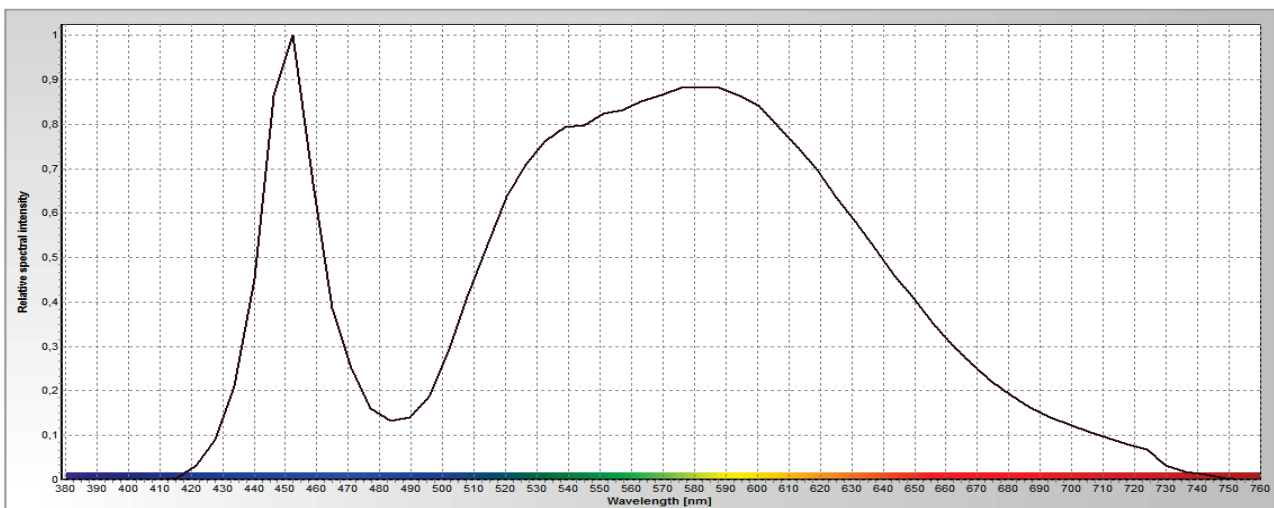
На рисунке 2 представлен фотобиореактор с осветительной установкой, в которой в качестве источника излучения используются люминесцентные лампы дневного белого света Philips TL-D 18W/54-765 в количестве 10 шт. В данном случае по результатам моделирования видно, что освещенность в точках на поверхности фотобиореактора существенно отличается. Минимальная освещенность 1025 лк, максимальная 4793 лк, при этом средняя равна 3297 лк. Периодически такие лампы выходят из строя, одна или несколько ламп в осветительной установке со временем перестают давать первоначальный световой поток или полностью перестают светить, но исследователи могут не придать этому должного значения, так как внешне это кажется не критичным. На рисунке 3 показан фотобиореактор с осветительной установкой, в которой в качестве источника излучения используются такие же люминесцентные лампы дневного белого света, только уже в количестве 6 шт. По изолиниям и фиктивным цветам на рисунке можно сделать вывод, что в данном случае распределение освещенности не такое равномерное, как при 10-ти лампах.



а) Спектр излучения люминесцентных ламп Philips TL-D 18W/54-765

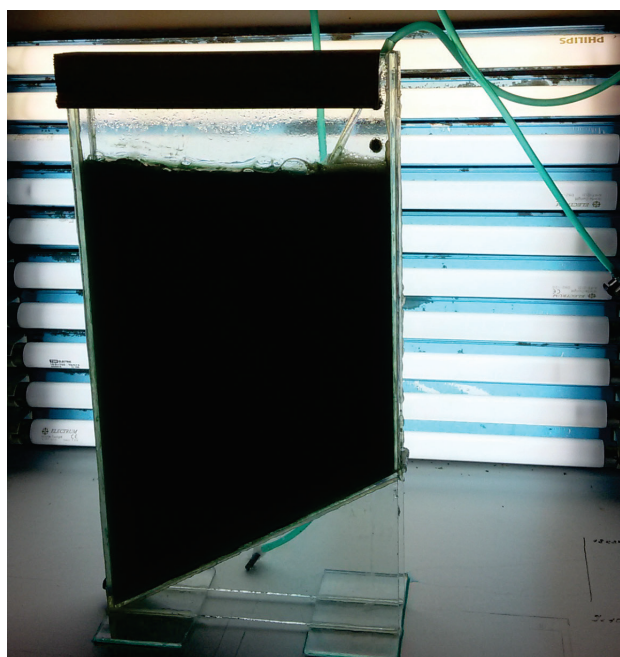


б) Спектр излучения лампы Лисма ДРЛ 700

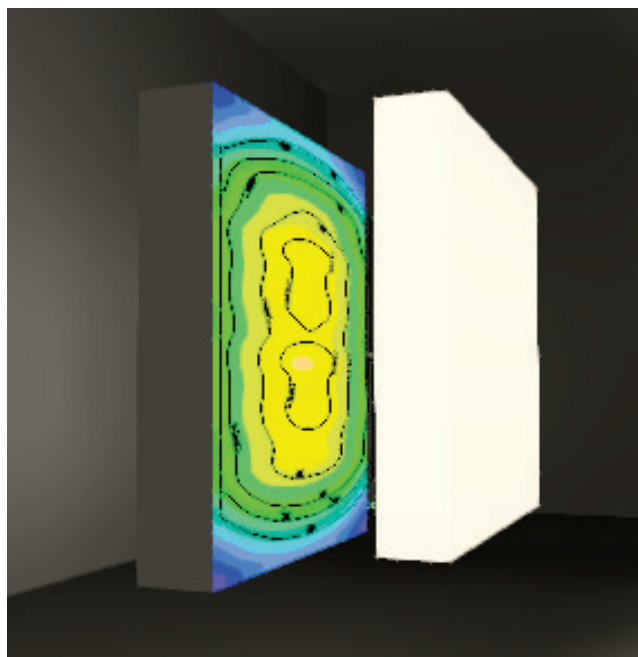


в) Спектр излучения светодиодов в осветительной установке НИИПП Томск

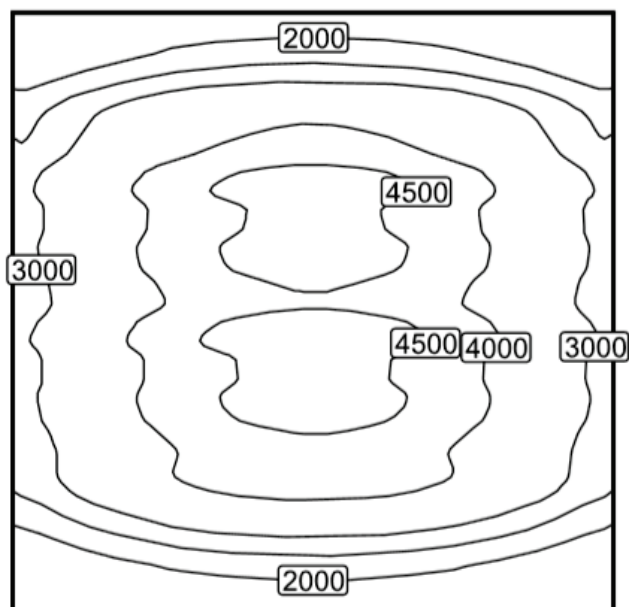
Рисунок 1. Спектры излучения 3-х источников белого света, используемых при культивировании микроводорослей, полученные с помощью спектроколориметра ТКА-ВД/02 и программного обеспечения "Спектрофотометр"



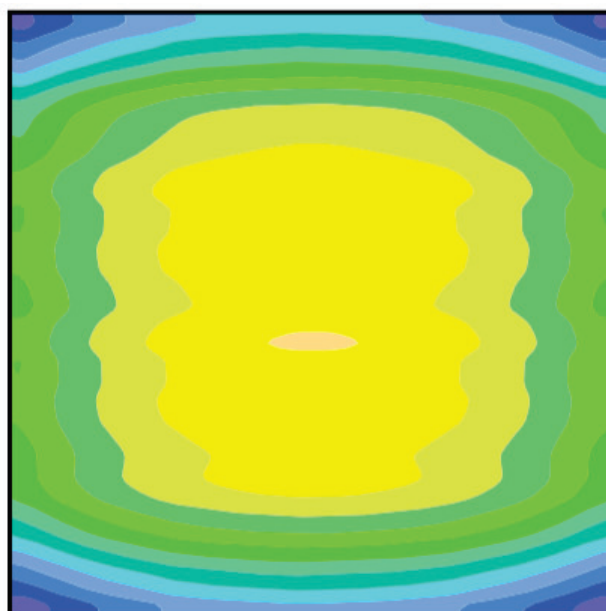
а) фактический вид



б) моделирование



в) изолинии на поверхности, лк



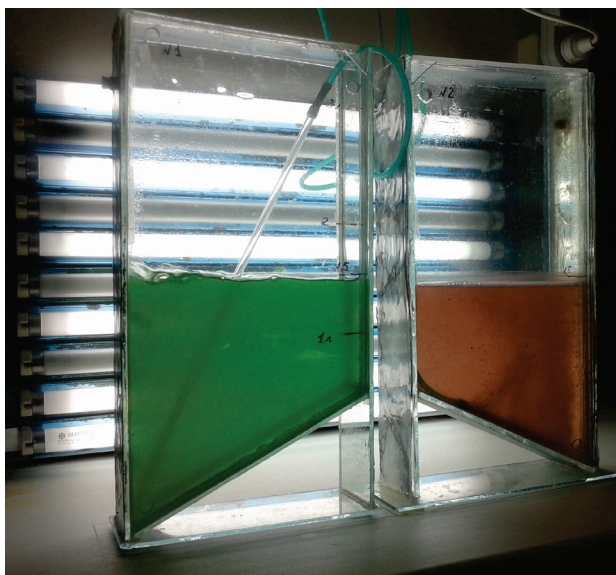
г) фиктивные цвета на поверхности, лк

Рисунок 2. Фотобиореактор с люминесцентными лампами дневного света в кол-ве 10 шт

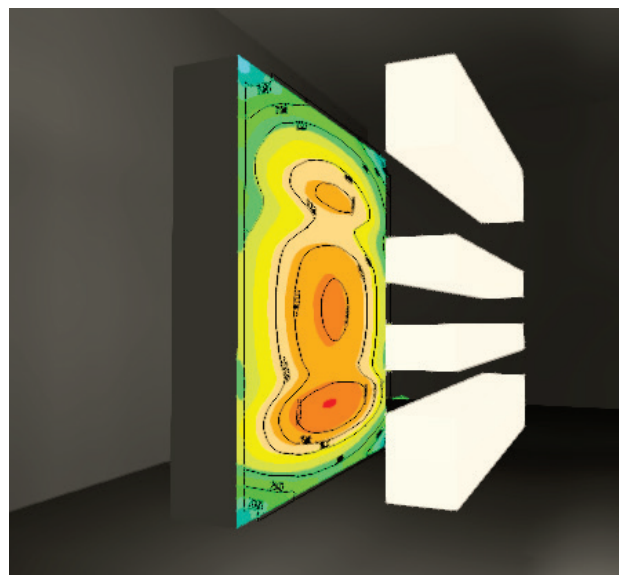
На рисунке 4 приведен пример, когда в качестве источника излучения используется лампа разрядная ртутная высокого давления Лисма ДРЛ 700, расположенная сбоку от фотобиореактора. Результаты моделирования показывают, что разброс освещенности в разных точках поверхности особенно велик, от 4 до 15 клк. На практике при прямых измерениях люксметром на поверхности фотобиореактора с подобным расположением источника излучения разница в освещенности доходила до 10 раз.

В другом варианте расположения такой же лампы (рис. 5), когда освещаемая поверхность емкости с суспензией находится прямо под лампой, распределение освещенности более равномерное. При подвесе на высоте 40 см минимум освещенности составляет 11227 лк, максимум 27441 лк. Картина распределения освещенности напрямую зависит от расположения источника излучения относительно рабочей поверхности фотобиореактора.

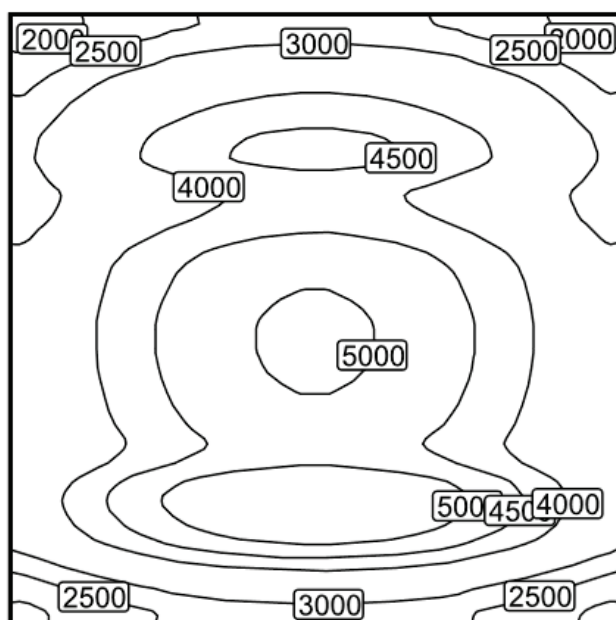
Наиболее равномерная освещенность при моделировании представлена на рисунке 6. Такой результат удалось получить, используя осветительную установку на базе светодиодов, которая была собрана в Научно-исследовательском институте полупроводниковых приборов (НИИПП) г. Томск. Равноудаленное друг от друга расположение излучающих элементов по всей площади светильника (светодиодная панель) позволило получить такое распределение света на поверхности фотобиореактора.



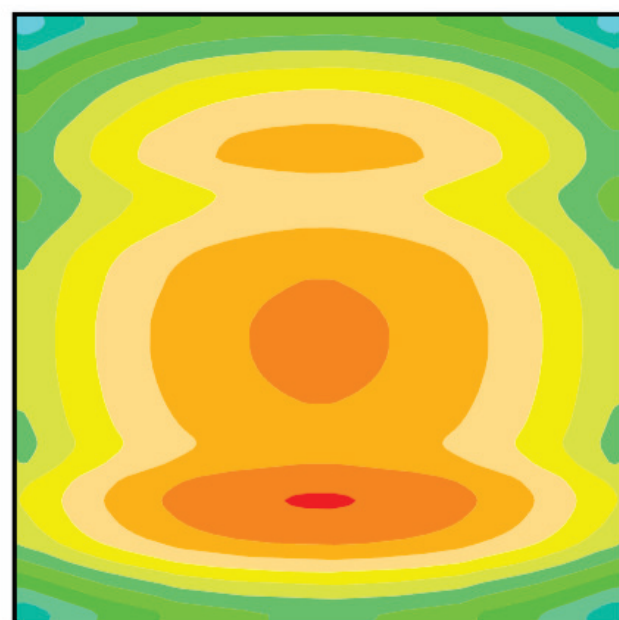
а) фактический вид



б) моделирование



в) изолинии на поверхности, лк

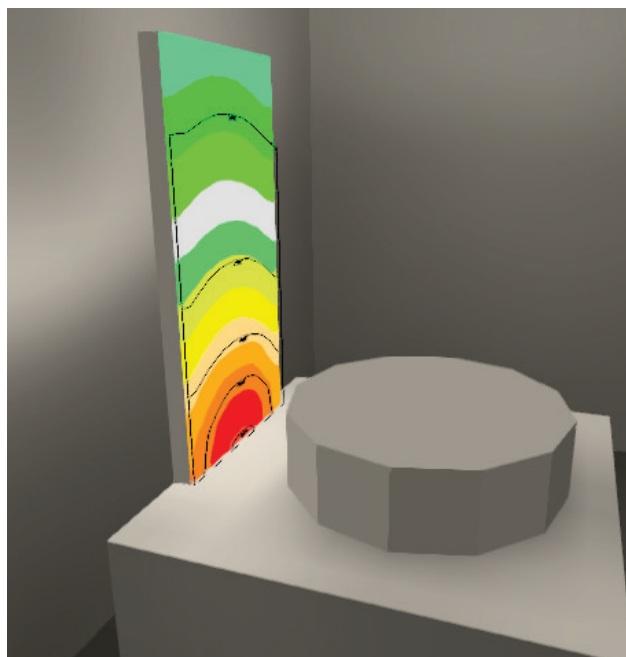


г) фиктивные цвета на поверхности, лк

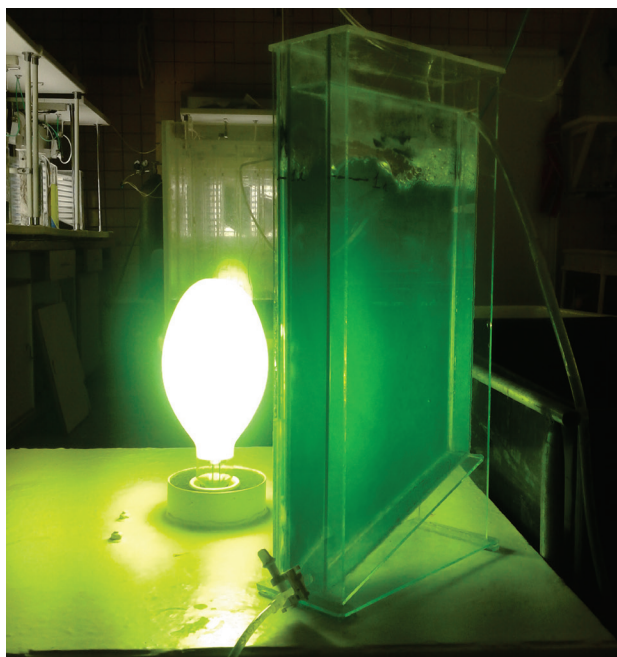
Рисунок 3. Фотобиореактор с люминесцентными лампами дневного света в количестве 6 шт

Таким образом, при проведении исследований и сравнении результатов становится ясно, что при отличном друг от друга расположении светильников будет разное распределение света по рабочей поверхности фотобиореактора, что создает разные условия режима свет-темнота для клеток в эксперименте. А разные по спектру источники излучения соответственно оказывают разное влияние на физиологические процессы в клетках.

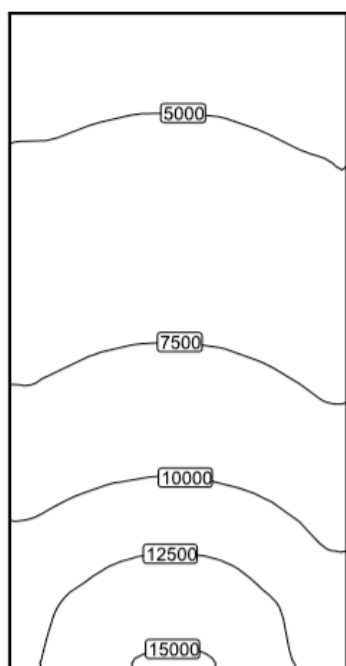
Исходя из вышесказанного, для корректного сравнения результатов исследований по культивированию микроводорослей, рекомендуется более полно описывать световые условия культивирования в проведении экспериментов (тип лампы, спектральный состав, освещенность (облученность) на рабочей поверхности и распределение светового потока на рабочей поверхности фотобиореактора. Чтобы создать равномерное распределение светового потока не рекомендуется использовать точечные источники излучения (например, лампа ДРЛ), а рекомендуется использовать светодиодные панели.



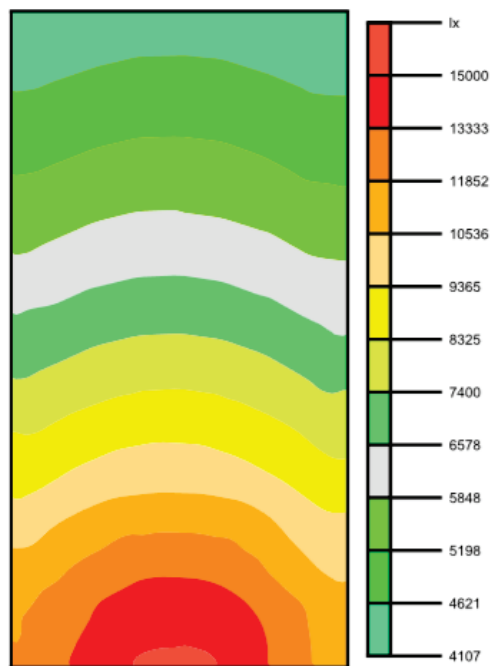
а) фактический вид



б) моделирование



в) изолинии на поверхности, лк

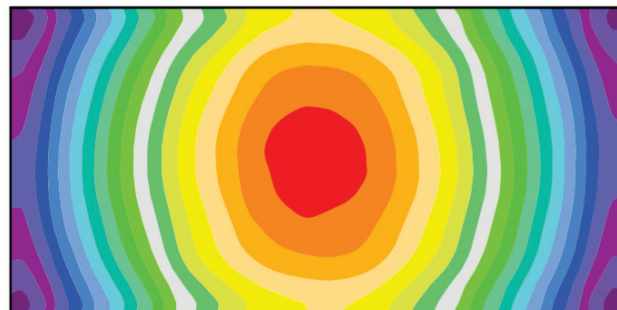


г) фиктивные цвета на поверхности, лк

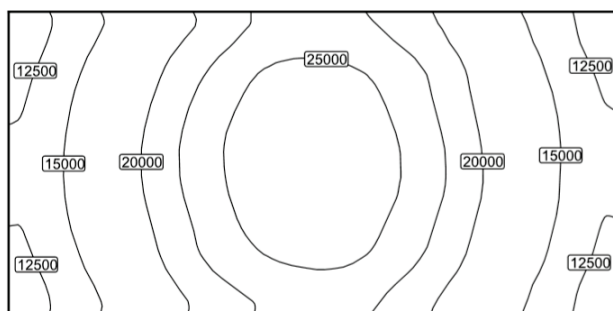
Рисунок 4. Фотобиореактор с лампой Лисма ДРЛ 700 сбоку



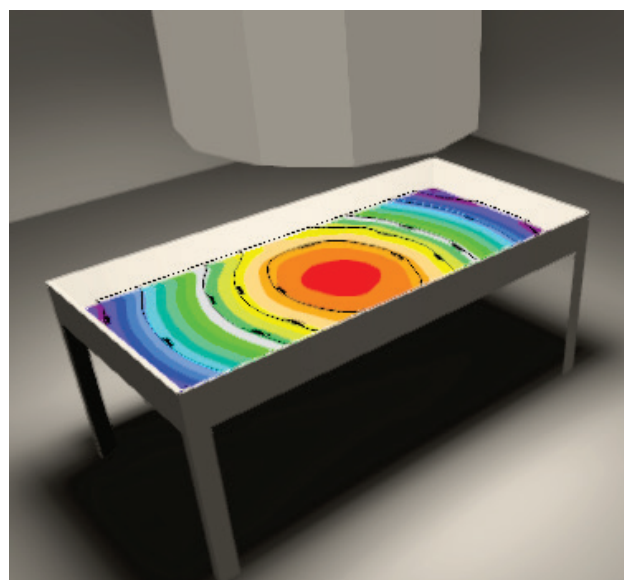
а) фактический вид



б) моделирование

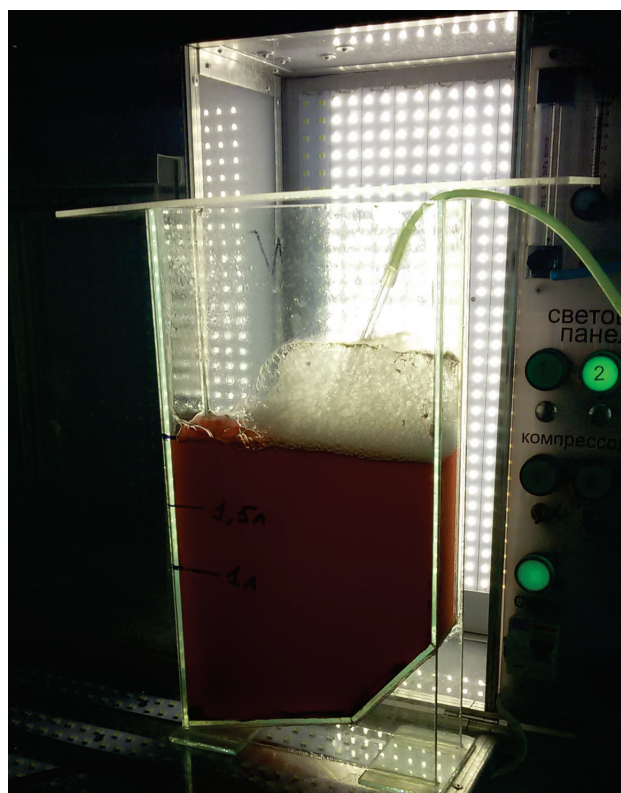


в) изолинии на поверхности, лк

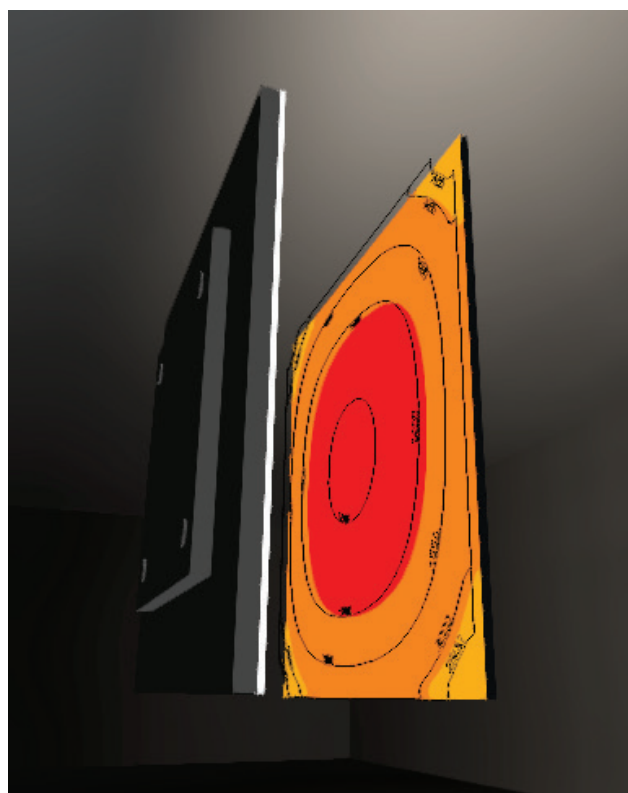


г) фиктивные цвета на поверхности, лк

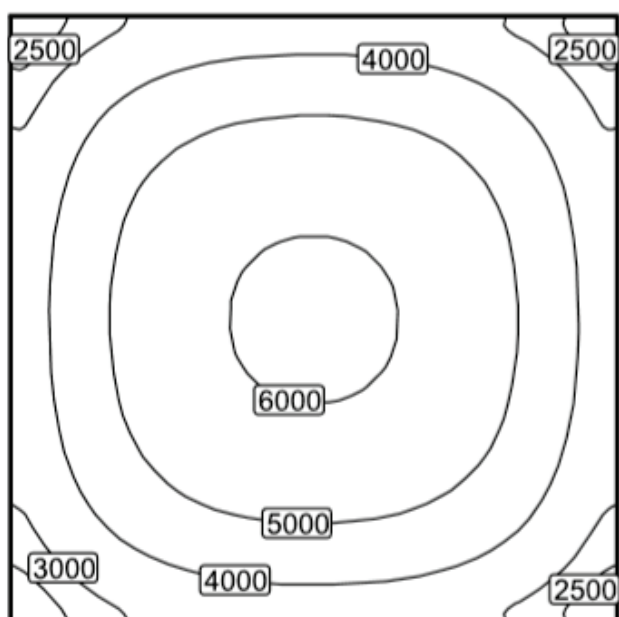
Рисунок 5. Фотобиореактор с лампой Лисма ДРЛ 700 сверху



а) фактический вид



б) моделирование



в) изолинии на поверхности, лк



г) фиктивные цвета на поверхности, лк

Рисунок 6. Фотобиореактор со светодиодной панелью

Работа выполнена в рамках госзадания ФГБУН ИМБИ по теме «Исследование механизмов управления продукционными процессами в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса» (№ госрегистрации АААА-А18-118021350003-6) и при финансовой поддержке гранта РФФИ №18-34-00672.

Список литературы / References:

1. Рабинович Е.И. *Фотосинтез* / Пер. с англ. Ильина А.А., Бояркин А.Н.; Ред. Ничипорович А.А., Шпольский Э.В. М.: ИЛ, 1953, т. 2, 653 с. [Rabinovich Ye.I. *Photosynthesis* / Translat. from English Il'ina A.A., Boyarkin A.N.; Red. Nichiporovich A.A., Shpol'skiy E.V. Moscow: IL, 1953, vol. 2, 653 p. (In Russ.)]
2. Стадничук И.Н. *Фикобилипротеины. Биологическая химия* (Итоги науки и техники ВИНТИ АН СССР). М., 1990, т. 40, 196 с. [Stadnichuk I.N. *Phycobiliproteins. Biological chemistry* (Itogi nauki i tekhniki VINITI AN SSSR). Moscow, 1990, vol. 40, 196 p. (In Russ.)]
3. Козел Н.В., Доманский В.П., Мананкина Е.Е., Адамчик К.О. [и др.] Влияние спектрального состава светодиодного излучения на структуру фотосинтетического аппарата *Spirulina platensis*. *Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі*, 2015, № 2, с. 44-49. [Kozel N.V. Domansky V.P., Manankina E.E., Adamczyk K.O. [et al.] The effect of the spectral composition of the led emission on the structure of the *Spirulina platensis* photosynthetic apparatus. *Vesci Nacyyanal'naj akademii navuk Belarusi*, 2015, no. 2, pp. 44-49. (In Russ.)]
4. Nedbal L., Tichy V., Xiong F., Grobbelaar J.U. Microscopic green algae and cyanobacteria in high-frequency intermittent light. *Journal of Applied Phycology*, 1996, vol. 8, pp. 325-333.
5. Abu-Ghosh S., Fixler D., Dubinsky Z., Iluz D. Flashing light in microalgae biotechnology. *Bioresource Technology*, 2016, vol. 203, pp. 357-363.
6. Мальцевская Н.В. *Энергосберегающие режимы освещения при культивировании светозависимых микроорганизмов*: автореф. дисс. ... канд. биол. наук, Москва, 2012, 18 с. [Mal'tsevskaya N.V. *Energy-saving lighting modes in the cultivation of light-dependent microorganisms*: thesis abstract PhD, Moscow, 2012, 18 p. (In Russ.)]

MODELING OF LIGHT DISTRIBUTION ON THE WORKING SURFACE OF THE PHOTOBIOREACTOR FOR MICROALGAE**Malakhov A.S.¹, Gevorgiz R.G.², Zheleznova S.N.²**¹National research Tomsk Polytechnic University

Lenin av., 30, Tomsk, 634050, Russia; e-mail: mac5989@mail.ru

²Institute of Marine Biological Research A.O. Kovalevsky

Nachimov av., 2, Sevastopol, 299011, Russia; e-mail: r.gevorgiz@yandex.ru, zheleznavasveta@yandex.ru

Abstract. The results of the light engineering modeling of the light flux distribution on the working surface of a photobioreactor for the most frequently used radiation sources in the cultivation of microalgae are presented. The results show how the illuminance at different points on the surface of the photobioreactor differs significantly, which changes the conditions of light-darkness. It is also shown that despite the external similarity of the emitted light from different radiation sources, their spectral compositions are not identical. This all has a significant effect on the biosynthesis in microalgae. Recommendations are given on the description of light conditions in studies of intensive microalgae cultures. It is noted that for the uniform light flux distribution on the photobioreactor working surface, it is necessary to use LED panels. It is not recommended to use point sources of radiation, for example, mercury arc lamps, as the radiation source.

Key words: light flow, LED, fluorescent lamp, mercury arc lamp.