

УТВЕРЖДАЮ

Директор ТОИ ДВО РАН

профессор, д.ф.м.н., академик РАН

Григорий Иванович Долгих



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Ефимовой Татьяны Владимировны на тему **«Действие спектрального состава света на структурные и функциональные характеристики микроводорослей»** представленную на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.16 - Гидробиология

Актуальность темы исследования

Видовой состав и функциональные характеристики фитопланктона тесно связаны с адаптацией фитопланктонного сообщества к условиям окружающей среды, таким как температура, свет, обеспеченность биогенными элементами. Наиболее значимым фактором, определяющим основной процент вариабельности структурно-функциональных характеристик фитопланктона, является свет. При достижении верхнего слоя воды свет меняет свой спектральный состав за счет неоднородного поглощения водной среды. Вода поглощает длинноволновую часть излучения в диапазоне фотосинтетически активной радиации (PAR), органическое вещество - неотъемлемая составляющая водной массы - коротковолновую часть PAR. Для олиготрофных вод характерно излучение в диапазоне 470 - 500 нм (синий свет). В менее прозрачных мезотрофных водах максимум пропускания смещается в сторону более длинных волн - 500-560 нм, в эвтрофные водоемы проникает (красное) излучение (до - 600 нм). Исходя из этого, возникает необходимость определения специфичности адаптации отдельных таксонов к световым условиям среды для понимания закономерностей пространственно-временной изменчивости в структуре сообщества фитопланктона, смены доминирующих таксономических групп.

Ранее проведенные исследования не дают однозначного объяснения адаптивных изменений структурных и функциональных характеристик водорослей и цианобактерий в ответ на изменение спектральных характеристик света в среде их существования, тогда как эти знания необходимы для научного обоснования формирования эконических отдельных таксонов планктонных микроводорослей и цианобактерий, и их влияния на продуктивность вод.

Оценка структуры и содержания работы

Диссертационная работа изложена на 150 страницах, включает введение, 6 глав, основные выводы, список публикаций автора по теме исследования и список литературы из 204-х наименований. Работа содержит 51 рисунок, 27 таблиц, 19 формул.

Во введении представлены сведения об актуальности темы исследования, цели, применяемых в работе методах исследования, научной новизне, практической значимости, указаны сведения о степени достоверности данных, количестве публикаций по теме диссертации и апробации работы, определены положения, выносимые на защиту.

В Разделе 1 дан обзор данных литературы по влиянию света различного спектрального состава (СПСС) на: содержание пигментов, органического углерода и азота в клетках водорослей и цианобактерий, отношение содержания хлорофилла *a* (ХЛ *a*) к органическому углероду (С) в клетках, поглощение световой энергии пигментами водорослей, квантовый выход фотосинтеза и роста, скорости роста клеток. Показано, что фикобилипротеин-содержащие виды, способны к комплементарной хроматической адаптации (КХА). Исследование влияния спектрального состава света на структурные и функциональные характеристики водорослей и цианобактерий различной таксономической принадлежности показало разнонаправленную реакцию адаптивного отклика на уровне таксонов и отдельных видов.

Раздел 2 включает лабораторные и полевые методы исследований. Объектами лабораторных исследований служили культуры морских видов водорослей и цианобактерий, представляющие разные таксономические группы и культура пресноводного вида представителя класса Cyanophyceae *Synechococcus elongatus* (Nägeli) Nägeli штамм IBSS-80, полученного из коллекции отдела биотехнологий и фиторесурсов ФИЦ ИнБЮМ.

Полевые исследования концентрации ХЛ *a* и спектральных показателей поглощения света пигментами фитопланктона выполнены в Чёрном море в пяти рейсах НИС «Профессор Водяницкий» с 2014 по 2018 гг., и на озере Байкал в рейсе НИС «Г. Титов» в сентябре 2019 г. Подробно представлены экспериментальные методы и методики, используемые в диссертационной работе.

В Разделе 3 приведены результаты исследования влияния спектрального состава света на внутриклеточное содержание пигментов; представлены формы спектров оптической плотности пигментов в ацетоновых экстрактах (*in vitro*), измерены объемы клеток культуры микроводоросли при адаптации к синему свету в сравнении с белым и клеток культуры цианобактерий при адаптации к СРСС; в клетках микроводорослей и цианобактерий оценено содержание органического углерода и азота и отношение С/ХЛ *a*.

В Разделе 4 изучено влияние спектрального состава света на функциональные характеристики микроводорослей и цианобактерий. Не обнаружено влияния СРСС на скорость роста (μ) клеток микроводорослей. У цианобактерий значение μ было наибольшим в условиях освещения светом, комплементарным по своим спектральным характеристикам с полосой поглощения фикобилинов. Изучение поглощения света микроводорослями и цианобактериями показало неизменность пигментного состава и степень упаковки пигментов в клетках в условиях вариабельности «качества» света в среде. Также в этом разделе проведен сравнительный анализ квантового выхода роста у ФЦ(С-фикоцианин)-содержащих цианобактерий, в отличие от микроводорослей,

В разделе 5 представлены результаты хроматической адаптации фитопланктонного сообщества Черного моря. На рисунке 3 обозначены спектры показателей поглощения света пигментами фитопланктона в поверхностном слое вод, на рисунке 4 – эти показатели под термоклином. Оценка эффективности поглощения света глубинным фитопланктоном в сравнении с поверхностным показала, что изменения в форме спектров показателей приводят к увеличению поглощения света в волновом диапазоне, соответствующем сине-зеленому свету, проникающему к нижней границе зоны фотосинтеза. Способность фитопланктона к поглощению сине-зеленого света заметно увеличивалась с глубиной. Так же показано вертикальное распределение пигментов и видового состава фитопланктона Чёрного моря и озера Байкал в поверхностном слое и под термоклином.

Раздел 6 посвящен обсуждению проделанной работы.

Показано, что у цианобактерий, в отличие от микроводорослей, в условиях светового лимитирования скорость роста зависит не от общего количества квантов, поглощённых пигментами, а только от доли квантов, поглощённых фикобилинами, что связано с особенностью строения и функционирования фотосинтетического аппарата цианобактерий. Низкая эффективность использования ФЦ-содержащими цианобактериями квантов света, не доступных для поглощения ФЦ, может являться причиной их малой конкурентной способности к росту на глубинах с преимущественным проникновением синего или сине-зеленого излучения. Так, «цветение» ФЦ-содержащих цианобактерий встречается в верхнем слое эвтрофных водоёмов. В мезотрофных водах ФЦ-содержащие цианобактерии могут достигать значительной численности в поверхностных водах прибрежных районов. Показано, что на глубине, соответствующей 0,1% PAR, увеличение поглощения света пигментами фитопланктона на единицу ХЛ a за счёт поглощения света пигментом С-фикоэритрином (ФЭ) возрастает на 20-30%. Для Чёрного моря формы спектров показали, что увеличение доли ФЭ-содержащих цианобактерий в фитопланктонном сообществе наблюдается на глубинах ниже слоя глубинного

максимума ХЛ *a* и 1%-го уровня PAR. На спектрах показателей, полученных в озере Байкал, также отмечены выраженные локальные пики на длине волны ~550 нм на глубинах, находящихся ниже 1% PAR и локального максимума ХЛ *a*. Это свидетельствует о том, что у ФЭ-содержащих цианобактерий и микроводорослей значение компенсационной глубины больше, чем у других таксонов в сообществе фитопланктона.

Таким образом, видоспецифическая способность ФЭ-содержащего фитопланктона поглощать сине-зеленый свет даёт ему конкурентное преимущество перед другими таксономическими группами фитопланктона в скорости фотосинтеза и роста при низкой интенсивности света. Необходимым условием для развития хроматической адаптации сообщества фитопланктона на глубине является стратификация вод, которая «запирает» микроводоросли и цианобактерии в слое со специфическими спектральными характеристиками облученности. Основой для преимущественного развития ФЭ-содержащих видов в нижней части зоны фотосинтеза является то, что они поглощают свет в коротковолновой части спектра более эффективно, чем другие таксоны, причем слой их обилия заглубляется относительно слоя глубинного максимума ХЛ *a*.

В качестве наиболее важных научных результатов диссертационной работы, определяющих ее новизну, следует отметить следующие:

1. Отсутствие фикобилинов у микроводорослей делает их неспособными к комплементарной хроматической адаптации, которая заключается в увеличении относительного содержания вспомогательных пигментов, комплементарных спектральному диапазону света в среде.
2. Спектральный состав света не влияет на структурные характеристики водорослей и цианобактерий в клетках всех исследованных видов при условии сбалансированности по количеству поглощенных квантов.
3. Влияние спектрального состава света на эффективность использования поглощённого света на рост клеток различается у исследованных видов: у

цианобактерий, в отличие от микроводорослей, эффективность использования поглощённого света в процессе роста зависит от его спектрального состава.

4. Изменчивость формы спектров показателей поглощения света пигментами фитопланктона выявила увеличение доли фикоэритрин содержащих видов в общей биомассе фитопланктона в нижней части зоны фотосинтеза в условиях плотностной стратификации вод в пределах освещенного слоя.

5. Комплементарность полосы поглощения света фикоэритрином спектральным свойствам солнечного излучения, проникающего к нижней границе зоны фотосинтеза Чёрного моря и озера Байкал, приводит к увеличению удельной эффективности использования света в процессе фотосинтеза.

6. В условиях светового лимитирования при наличии плотностной стратификации вод спектральный состав света является ключевым фактором, влияющим на развитие определенных таксонов фитопланктона в нижней части зоны фотосинтеза в пределах освещенного слоя. В результате хроматической адаптации фикоэритрин-содержащие виды фитопланктона могут достигать значительной численности и составлять более 50 % биомассы сообщества фитопланктона на глубинах с освещенностью 1% – 0,1% от уровня солнечной инсоляции поверхности моря.

7. Фикоэритрин-содержащие виды, в сравнении с другими таксонами сообщества фитопланктона имеют бóльший показатель компенсационной глубины, о чем говорит увеличение их численности, доли в биомассе фитопланктона и удельной эффективности поглощения света на горизонтах ниже слоя глубинного максимума флуоресценции хлорофилла *a*, приуроченного к 1%-ому уровню фотосинтетически активной радиации.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научные положения, выносимые на защиту, и полученные в работе выводы представляются обоснованными, поскольку они базируются на применении

современных взаимодополняющих апробированных методов исследований структурных и физиологических свойств микроводорослей и цианобактерий, признанных отечественной и зарубежной научной общественностью, также прошли обсуждения на российских и международных научных конференциях и опубликованы в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК и входящих в международные базы цитирования WOS и Scopus.

Достоверность полученных результатов

Достоверность данных обеспечена использованием современных методик и статистической обработкой результатов с помощью пакетов компьютерных программ «Microsoft Excel 7.0» и «Grapher-12».

Практическая значимость полученных автором результатов

В проделанной работе выявлена видоспецифичность зависимости структурных и функциональных характеристик микроводорослей и цианобактерий от спектрального состава света, которая необходима для понимания закономерностей формирования экониш отдельных таксонов. Установленные особенности спектральных показателей поглощения света пигментами фитопланктона и их различие между слоями зоны фотосинтеза позволят уточнить моделирование светового поля и первичной продукции фитопланктона на основе спектрального подхода, который учитывает влияние обилия и таксономического состава фитопланктона на проникающее излучение, а также на способность фитопланктона использовать солнечный свет в море в процессе фотосинтеза. Полученные данные о спектральных показателях поглощения света фитопланктоном могут быть использованы для развития современных оперативных методов оценки показателей продуктивности вод Чёрного моря и озера Байкал – дистанционного зондирования Земли из космоса.

Замечания по диссертационной работе.

К сожалению работа не свободна от ряда недостатков. Так из текста диссертации не ясно обоснование разного времени хроматической адаптации культур например у *Isochrysis galbana* – 40 дней, а у *Prorocentrum nanum* – 5 дней. В таблицах наряду с системными единицами измерения освещённости (моль квантов) используется аналогичная внесистемная единица Э –Энштейн. Неверно цитируется метод определения хл а, т.е . делается ссылка на ГОСТ 17.1.4.02.-90, а реально описывается иная методика. Неправильно трактуется понятие вакуум, так на странице 43, строка 13 снизу указано, что пробы сгущаются при вакууме меньше 0,2 атм, что при нормальном атмосферном давлении соответствует перепаду давлений, или разряжению 0,8 атм. Есть ошибки и списке литературы (ссылка 50) и другие в том числе синтаксические ошибки.

Отмеченные замечания не изменяют общей положительной оценки диссертационной работы и не снижают ее научной и практической ценности.

Заключение

Диссертационная работа Ефимовой Татьяны Владимировны «Действие спектрального состава света на структурные и функциональные характеристики микроводорослей» на соискание ученой степени кандидата биологических наук представляет собой законченное исследование, в котором получены новые результаты, в совокупности представляющие собой новый подход для понимания закономерностей пространственно-временной изменчивости в структуре сообщества фитопланктона, смены доминирующих таксономических групп и их влияния на первичную продукцию водоёма в ответ на изменение спектральных характеристик света в среде их существования. Содержание автореферата полностью соответствует тексту диссертации. Материалы диссертационной работы полно отражены в 5 статьях в изданиях из списка Web of Science и/или Scopus, 7 статьях в журналах из списка ВАК и 13 работ в списках других изданий. Представленная работа соответствует паспорту специальности 1.5.16.-

гидробиология. По актуальности и объему выполненных исследований, новизне, достоверности, научной и практической значимости полученных результатов и выводов диссертационная работа «Действие спектрального состава света на структурные и функциональные характеристики микроводорослей» полностью соответствует критериям, установленным пп. 9-14 Постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней» (ред. от 11.09.2021), а ее автор Ефимова Т.В. заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.16 – «гидробиология»

Диссертационная работа была рассмотрена на заседании объединённого семинара лабораторий палеоокеанологии и морской экотоксикологии Тихоокеанского океанологического института (протокол №1 от 25.01.2021). Присутствовало на семинаре — 2... чел. Результаты открытого голосования по заключению ведущей организации — «за» — 2... чел., «против» — 0 чел, «воздержались» — 0 чел.»

Отзыв подготовил:

Ведущий научный сотрудник лаборатории палеоокеанологии
ФГБУН ТОИ ДВО РАН кандидат биологических наук по
специальности «гидробиология», доцент по специальности

«океанология»

Сергей Петрович Захарков

25.01.2022

Подпись к.б.н. доцента С.П. Захаркова заверяю:

Учёный секретарь ФГБУН ТОИ ДВО РАН им. В.И. Ильичёва

К.г.н

Савицкая Нина Ивановна

25.01.2022



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва Дальневосточного отделения Российской академии наук 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская 43
<http://www.poi.dvo.ru> E-mail: pacific@poi.dvo.ru