

Отзыв официального оппонента  
на диссертацию 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 исследования.

Взаимодействие световой энергии и пигментного аппарата клеток одноклеточных кислородных фототрофных организмов (цианобактерий и микроводорослей, составляющих основную часть фитопланктона) — важный, не вполне изученный вопрос. От эффективности захвата световой энергии клетками продуцентов зависит функционирование водных экосистем на всех уровнях — от клеточного до биосферного. Фототрофные микроорганизмы обладают способностью адаптировать структуру и состав пигментного аппарата своих клеток к интенсивности и спектральному составу оптического излучения, преобладающего в среде обитания данных организмов (механизмом хроматической адаптации). Эти способности дают обладающим ими группам организмов существенные конкурентные преимущества, значительно расширяющие их потенциальную нишу обитания. Этот механизм также может быть важен при промышленном интенсивном культивировании микроводорослей при высокой плотности клеток, когда значительная часть

культуры регулярно испытывает дефицит световой энергии. Таким образом, знание закономерностей воздействия оптического излучения на структурные и функциональные характеристики клеток микроводорослей важно для понимания процессов, имеющих место в природных сообществах и искусственных культивационных системах. В этой связи тема диссертации представляется весьма актуальной.

Научная новизна исследования. Показано, что микроводоросли, не содержащие фикобилиновые пигменты, не способны к комплементарной хроматической адаптации. Установлено, что зависимость эффективности использования поглощённого света на рост клеток от спектрального состава света зависит от вида. При этом спектральное качество света не влияет на рост микроводорослей, не содержащих фикобилины. Впервые получены данные об изменчивости спектральных показателей поглощения света пигментами фитопланктона в Чёрном море и озере Байкал с использованием современных методик. Выявлена вертикальная изменчивость показателей поглощения и формы спектров в пределах зоны фотосинтеза в условиях плотностной стратификации вод в пределах освещенного слоя. Показано, что полосы поглощения света *in vivo* пигментом фикоэритрином соответствуют спектральным свойствам солнечного излучения, проникающего к нижней границе зоны фотосинтеза в Чёрном море и озере Байкал. Обоснована роль спектрального состава света как ключевого детерминанта таксономического состава фитопланктона в нижней части зоны фотосинтеза в условиях светового лимитирования при наличии плотностной стратификации вод в пределах освещенного слоя.

Общая оценка работы. Диссертация Т.В. Ефимовой изложена на 150 страницах машинописного текста и построена по традиционному плану: введения, обзора литературы, 6 глав, заключения, выводов, списка литературы, включающего 204 источника. Работа содержит 51 рисунок, 27 таблиц и 19 формул.



В главе 1 приводится обзор литературы по теме диссертационного исследования. Систематизируются накопленные к настоящему времени данные о влиянии света различного спектрального состава на содержание пигментов, органического углерода и азота в клетках микроводорослей и цианобактерий, отношение содержания ХЛ а к органическому углероду в клетках, поглощение световой энергии пигментами водорослей, квантовый выход фотосинтеза и роста, скорости роста клеток. На основании анализа литературных сведений обоснован выбор направления исследований и способы решения поставленных в его рамках задач.

Глава 2 содержит исключительное детальное описание постановки и реализации культивационных экспериментов, а также инструментальных методов анализа, включая спектрометрические методы, оптимизированные для лабораторных и полевых (экспедиционных) условий. Даны методические подробности мониторинга роста и хроматической адаптации культур.

В главе 3 приводятся результаты определения внутриклеточного содержания основных и вспомогательных фотосинтетических пигментов для исследованных видов микроводорослей и цианобактерий. Установлено, что форма спектра ацетоновых экстрактов (и, соответственно, спектральные вклады хлорофиллов и каротиноидов в поглощение света) не зависели от спектральных характеристик света, использованного для освещения культур. Также приводятся распределения размеров клеток, а также значения отношения С/Н и хлорофилла к азоту. Постулируется отсутствие влияния спектрального качества света на центральный метаболизм клеток изученных организмов.

Глава 4 посвящена исследованию влияния спектрального состава света на функциональные характеристики микроводорослей и цианобактерий, включая скорость деления клеток (скорость роста), удельное поглощения света культурами и квантовой эффективности роста.

Глава 5 содержит описание комплементарной хроматической адаптации в реальных сообществах фитопланктона Чёрного моря и озера Байкал (по результатам экспедиционных исследований диссертанта). Представлены данные об оптическом поглощении клеток фитопланктона, полученные в ходе сезонов 2015–2019 гг., включая вертикальное распределение пигментов и таксономического состава фитопланктона. Показано увеличение вклада фикобилиновых пигментов (фикоуробилина и фикоэритробилина) в поглощение света клетками по мере увеличения глубины отбора проб.

Глава 6 посвящена обсуждению полученных результатов. Диссертант приходит к заключению о наличии конкурентного преимущества у видов, содержащих фикоэритрин и способных поглощать сине-зеленый свет, в плане скорости фотосинтеза и деления клеток в конкретных условиях спектрального состава освещения при низкой интегральной интенсивности света. Постулируется, что необходимым условием для развития хроматической адаптации сообщества фитопланктона на глубине является стратификация вод.

При ознакомлении с диссертацией возник ряд вопросов и рекомендаций. Так, известно, что фотореакции, включая первичные процессы фотосинтеза, подчиняются закону Эйнштейна-Штарка (квантовый выход не зависит от длины волны, имеет значение только число поглощённых квантов). При этом диссертантом установлена зависимость квантового выхода и скорости роста пикоцианобактерий от спектрального состава света в условиях лимитирующего роста уровня облученности. Однако на с. 111 автор делает вывод о «постоянстве направленности биосинтеза клетки в условиях различного спектрального освещения». Какие причины могут приводить появлению спектральной зависимости у квантового выхода роста цианобактерий?



В отношении описания методов статистического анализа следует заметить, что оценка достоверности результатов не зависит от компьютерной программы, в которой обрабатываются результаты, а от природы самих данных (величины выборки, типа распределения, величин дисперсии и т.д.) и адекватности выбора методов статистической обработки. Далее, остаётся неясным, были ли выровнены интегральные плотности потоков падающего на культуры света в вариантах с разным спектральным составом света.

При сравнительном анализе имело бы смысл рассчитать разностные спектры для исходных спектров поглощения культур, адаптированных к разным условиям (см. например рис. 3.4). Касательно представления значений отношения OD и Хл/С: имело бы смысл пометить достоверно различающиеся величины и (или) представить их в виде столбчатых диаграмм.

На стр. 110 тезис о том, что «спектральная зависимость величины показателя поглощения света пигментами водорослей и цианобактерий приводит к значительному различию в количестве поглощённых квантов света: на красном свете поглощается наименьшее количество квантов света, а на синем – наибольшее» требует пояснения с указанием полос в нм.

Текст диссертации написан хорошим литературным языком, что в совокупности с достаточным числом графиков упрощает восприятие ключевых результатов работы. Вышеперечисленные замечания носят дискуссионный характер и не снижают теоретической ценности исследования и его практической значимости. Личный вклад диссертанта не вызывает сомнений. Содержание диссертации отражено в автореферате, а основные результаты исследований — в научных публикациях диссертанта. Выводы по результатам работы обоснованы, результаты выполненных экспериментов подтверждают их.

Ознакомившись с диссертацией и авторефератом диссертации, считаем, что работа Ефимовой Татьяны Владимировны соответствует требованиям к

кандидатским диссертациям, изложенным в пп. 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (с изм. от 11.09.2021 г.), а автор диссертационного исследования Ефимова Т.В. заслуживает присуждения учёной степени кандидата биологических наук по специальности «1.5.16 – гидробиология».

Официальный оппонент:

Доктор биологических наук,  
профессор кафедры биоинженерии  
Биологического факультета  
Федерального государственного  
бюджетного учреждения высшего  
образования «Московский  
государственный университет  
имени М.В. Ломоносова»



Соловченко Алексей Евгеньевич

24 января 2022 г.

Контактные данные официального оппонента

*Почтовый адрес:* 119234, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1, с. 12. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», биологический факультет.

*Телефон/факс:* +7(495) 939-25-87; +7(495) 939-43-09

*Адрес электронной почты:* solovchenko@mail.bio.msu.ru

Подпись д.б.н., проф. кафедры биоинженерии  
биологического факультета МГУ  
Соловченко А.Е. заверяю

Декан биологического  
факультета МГУ, академик РАН  
Кирпичников Михаил Петрович

