

**Заключение диссертационного совета Д 24.1.221.01 (Д900.009.01),
созданного на базе Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Институт
биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», по диссертации
на соискание ученой степени кандидата наук**

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета
от 25 февраля 2022 г. № 1

О присуждении Ефимовой Татьяне Владимировне, гражданке Российской Федерации ученой степени кандидата биологических наук.

Диссертация «Действие спектрального состава света на структурные и функциональные характеристики микроводорослей» по специальности 1.5.16 «гидробиология» принята к защите 14.12.2021 г. (протокол заседания № 18) диссертационным советом 24.1.221.01 (Д900.009.01), созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН» (ФИЦ ИнБЮМ), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации. 299011, Российская Федерация, г. Севастополь, проспект Нахимова, д. 2, приказ о создании диссертационного совета № 714/нк от 21 июня 2016 года.

Соискатель Ефимова Татьяна Владимировна, 27 марта 1981 года рождения, в 2006 году окончила Севастопольский национальный технический университет по специальности «Физика. Биофизика», в настоящее время работает младшим научным сотрудником научно-исследовательского центра геоматики ФИЦ ИнБЮМ.

Диссертация выполнена в отделе экологической физиологии водорослей и в научно-исследовательском центре геоматики ФИЦ ИнБЮМ.

Научный руководитель – **Финенко Зосим Зосимович**, доктор биологических наук, профессор.

Официальные оппоненты:

Соловченко Алексей Евгеньевич – доктор биологических наук, профессор кафедры биоинженерии Биологического факультета Федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», г. Москва;

Микаэлян Александр Сергеевич – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории структуры и динамики планктонных сообществ Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской Академии Наук, г. Москва

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва» Дальневосточного отделения Российской академии наук (ТОИ ДВО РАН), г. Владивосток в своем положительном заключении, подписанном ведущим научным сотрудником, к.б.н. Захарковым Сергеем Петровичем, отметила, что:

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 полностью соответствует критериям, установленным в 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».

Соискатель имеет более 100 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 25 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 12 работ. Научные работы соискателя посвящены изучению влияния спектрального состава света в среде на структурные и функциональные характеристики микроводорослей и цианобактерий. В диссертации представлены достоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах. Автор принял непосредственное участие в подготовке статей соответствующей тематики.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Churilova T., Suslin V., Krivenko O., Efimova T., Moiseeva N., Mukhanov V., Smirnova L. Light Absorption by Phytoplankton in the Upper Mixed Layer of the Black Sea: Seasonality and Parametrization // *Frontiers in Marine Science*. – 2017. – Vol. 4, article 90. – 14 p. WoS/Scopus
2. Churilova T., Suslin V., Sosik H. M., Efimova T., Moiseeva N., Moncheva S., Mukhanov V., Rylkova O., Krivenko O. Phytoplankton light absorption in the deep chlorophyll maximum layer of the Black Sea // *European Journal of Remote Sensing*. – 2019. – Vol. 52, suppl. 1. – P. 123-136. WoS/Scopus
3. Churilova T. Y., Suslin V. V., Moiseeva N. A., Efimova T. V. Phytoplankton Bloom and Photosynthetically Active Radiation in Coastal Waters // *Journal of Applied Spectroscopy*. – 2020. – Vol. 86, iss. 6. – P 1084-1091. WoS/Scopus

4. Efimova T. V., Churilova T. Y., Mukhanov V. S. The Influence of Light of Different Spectral Qualities on the Photosynthetic Characteristics of C-Phycocyanine-Containing Cyanobacteria *Synechococcus* sp. WH5701 // Russian Journal of Marine Biology. – 2020. – Vol. 46, iss. 2. – P. 105-112. WoS/Scopus
5. Чурилова Т. Я., Суслин В. В., Ефимова Т. В., Моисеева Н. А., Скороход Е. Ю. Влияние взвешенного и растворенного органического вещества на спектральные характеристики облученности и эффективность поглощения света пигментами фитопланктона в прибрежных водах Черного моря // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. – 2020. – Т. 13, № 2. – С. 43-50.
6. Ефимова Т. В., Акимов А. И. Влияние спектрального состава света на рост и фотосинтез диатомовой водоросли *Nitzschia* sp. // Экология моря. – 2009. – Вып. 77. – С. 11-16.
7. Ефимова Т. В., Акимов А. И. Влияние спектрального состава света на рост и содержание пигментов в цианобактерии *Synechococcus elongatus* Nägeli // Морской экологический журнал. – 2010. – Т. 9, № 1. – С. 33 – 38.
8. Ефимова Т. В. Влияние спектрального состава света на содержание пигментов в клетках микроводорослей // Морской экологический журнал. – 2011. – Т. 10, № 2. – С. 22 – 28.
9. Ефимова Т. В. Влияние спектрального состава света на фотобиологические характеристики *Isochrysis galbana* Parke, 1949 // Морской экологический журнал. – 2013. – Т. 12, № 4. – С. 37 – 44.
10. Чурилова Т. Я., Кривенко О. В., Суслин В. В., Ефимова Т. В., Моисеева Н. А. Первичная продукция Черного моря: спектральный подход // Морской биологический журнал. – 2016. – Т. 1, № 3. – С. 50-53.
11. Чурилова Т. Я., Суслин В. В., Кривенко О. В., Ефимова Т. В., Моисеева Н. А. Спектральный подход к оценке скорости фотосинтеза фитопланктона в Черном море по спутниковой информации: методологические аспекты развития региональной модели // Журнал Сибирского федерального университета. Серия «Биология». – 2016. – Т. 9, № 4. – С. 367-384.

12. Ефимова Т. В., Чурилова Т. Я., Муханов В. С., Сахонь Е. Г. Хроматическая адаптация с-фикоэритрин-содержащих черноморских цианобактерий *Synechococcus* sp. // Вода: химия и экология. – 2018. – № 4-6. – С. 106-115.

На диссертацию и автореферат поступило 12 отзывов. Все отзывы положительные. В 4 отзывах имеются замечания.

Отзывы без замечаний подписали:

1. ведущий научный сотрудник лаборатории альгологии Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, доктор биологических наук, **Сигарева Любовь Евгеньевна**;
2. ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией водной микробиологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Лимнологического института Сибирского отделения РАН, кандидат биологических наук, доцент, **Белых Ольга Ивановна**;
3. профессор кафедры биофизики биологического факультета ФГБОУ ВО «МГУ имени М.В. Ломоносова», доктор биологических наук, **Булычев Александр Александрович**;
4. научный сотрудник кафедры биофизики биологического факультета МГУ, кандидат биологических наук **Тодоренко Дарья Алексеевна**;
5. заведующий лабораторией водной экологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института водных и экологических проблем Сибирского отделения РАН, кандидат биологических наук, доцент, **Кириллов Владимир Викторович**;
6. ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией биохимии и физиологии гидробионтов Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН – филиал ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», кандидат биологических наук, **Силкин Юрий Александрович**;
7. доцент кафедры океанологии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», кандидат географических наук, доцент, **Лобанова Полина Вячеславовна**;

8. заведующий кафедрой гидробиологии и общей экологии ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», доктор сельскохозяйственных наук, профессор **Зайцев Вячеслав Федорович** и профессор кафедры гидробиологии и общей экологии ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», доктор биологических наук, доцент **Волкова Ирина Владимировна**.

Отзывы с замечаниями:

9. В отзыве руководителя лаборатории оптики океана ФГБУН Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, кандидата физико-математических наук **Глуховца Дмитрия Ильича**, отмечается, что, к сожалению, в автореферате не представлена информация о количественных характеристиках спектрального состава световых полей, что затрудняет понимание и интерпретацию полученных результатов. К примеру, на рисунке 1 спектральный состав следовало бы охарактеризовать количественно, в то время как автор ограничивается качественным описанием: белый, красный, синий, зелёный. Не разъяснен термин «*фактор качества света*». Кроме того, не ясно, как рассчитывалась величина диффузного ослабления света по данным измерений прозрачномера – прибора, определяющего показатель ослабления. В разделе «Теоретическая и практическая значимость работы» написано: «*установленные особенности спектральных показателей поглощения света пигментами фитопланктона ... позволят уточнить моделирование светового поля*», однако все значения показателя поглощения в автореферате даны в относительных единицах.

10. В отзыве ведущего научного сотрудника лаборатории ботаники ФГБУН «Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии» ДВО РАН, доктора биологических наук **Абдуллина Шамиля Раисовича**, в качестве замечаний указано на незначительные орфографические и стилистические ошибки (стр. 3, 13 и т.д.).

11. В отзыве главного научного сотрудника лаборатории гидрологии и геоинформатики Федерального госбюджетного учреждения науки Института

водных и экологических проблем Сибирского отделения РАН, доктора физико-математических наук **Суторихина Игоря Анатольевича** в качестве замечаний отмечены некоторые стилистические неточности в тексте автореферата (стр. 5 второй абзац).

12. В отзыве главного научного сотрудника отдела оптики и биофизики моря ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН», доктора физико-математических наук, профессора **Ли Михаила Ен Гон** и старшего научного сотрудника отдела оптики и биофизики моря ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Морской гидрофизический институт РАН», кандидата физико-математических наук **Корчёмкиной Елены Николаевны** отмечено, что во введении хотелось бы видеть объяснение терминов «структурные и функциональные характеристики клетки», а также «сбалансированность излучения по количеству квантов света», «качество света». Во втором случае имеется в виду равенство, т.е. белый свет? Или некая комплементарность спектрального состава света и спектра поглощения клетки? На стр. 8 «Достоверность данных обеспечена использованием современных методик». Имеются в виду методики биологических исследований? На стр. 10 «В качестве источника света для культуры *Nitzschia* sp. Использовали вертикальную световую решётку ... для культур *Synechococcus* sp. горизонтальную световую решётку...». В чем смысл использования различного вида решетки и оказывает ли это влияние на результат? На стр. 11 «В июне 2016 г. *Zeu* определяли по величине диффузного коэффициента ослабления света, которую измеряли с помощью прозрачномера». Правильно – коэффициента диффузного ослабления. Кроме того, он не измерялся, а рассчитывался по данным о показателе ослабления направленного света, который измерялся. На стр. 13 не расшифрованы сокращения КР и КХА. На стр. 13 «Формы спектров оптической плотности ($OD(\lambda)$) ацетоновых экстрактов пигментов, нормированных на значение OD на длине волны красного максимума в спектре ~ 664 нм ($OD(664)$), и величина отношения OD в синем максимуме спектра на длине волны ~ 430 нм ($OD(430)$) к $OD(664)$ (Rac), отражающая

изменение соотношения КР/ХЛ а в клетках, у культур микроводорослей не зависели от спектральных характеристик света (Рис. 1).» Однако для некоторых культур различия на приведенном графике видны, какова достоверность предположения о независимости от спектрального состава? Для хотя бы качественной оценки достоверности стоило бы привести среднеквадратичное отклонение приведенных величин. Все заявления «зависит» и «не зависит» должны сопровождаться статистической оценкой этой зависимости (достоверность). Было бы гораздо нагляднее, если бы числовая информация была представлена в таблицах, а не в тексте. На стр. 16 «У ФЦ-содержащих цианобактерий, в отличие от микроводорослей, отмечено увеличение квантового выхода роста (ϕ_{μ}) при адаптации к красному свету ($0,11 \pm 0,01$ моль С/моль квантов), комплементарному полосе поглощения ФЦ, и уменьшение ϕ_{μ} при адаптации к синему свету ($0,050 \pm 0,01$ и $0,011 \pm 0,001$ моль С/моль квантов у *S. elongatus* и *Synechococcus* sp. WH5701, соответственно), не поглощаеом ФЦ.» Увеличение и уменьшение относительно чего? И насколько сильное? На стр. 21 «Расчёты показывают, что на глубине, соответствующей 0,1% PAR, увеличение поглощения света пигментами фитопланктона на единицу ХЛ а за счёт поглощения света пигментом ФЭ возрастает на 20-30% (Рис. 6).» На какой длине волны? На рисунке показано, что изменения зависят от длины волны, и в максимуме значения могут отличаться в 1,5 – 2 раза.

В целом, в отзывах отмечается, что диссертационная работа Ефимовой Т.В. имеет важное значение для современной гидробиологии. Она посвящена изучению влияния спектрального состава света на характеристики культур микроводорослей, цианобактерий и природных популяций морского и пресноводного фитопланктона Чёрного моря и озера Байкал. Полученные результаты важны для понимания закономерностей пространственно-временной организации структуры и функциональных свойств первично-продукционного звена водных экосистем и формирования биологической продукции водоёмов. Результаты диссертационной работы Т.В. Ефимовой 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 процессе фотосинтеза. Решение поставленных задач выполнено автором на современном методологическом и технологическом уровне. Экспериментальные и полевые исследования выполнены в двух водных объектах, значительно различающихся по гидрологическим и гидрофизическим условиям, солёности и уровню трофности. Что касается замечаний, высказанных в отзывах ведущей организации и оппонентов, то они в основном носят технический и рекомендательный характер и не могут повлиять на общее положительное впечатление от проделанной работы. Представленная кандидатская диссертация по степени новизны и практической значимости отвечает требованиям п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением правительства РФ от 24.09.2013 № 842, поскольку представляет собой самостоятельное и актуальное научное исследование. Диссертационная работа выполнена на высоком профессиональном уровне и соответствует специальности 1.5.16 – гидробиология и профилю диссовета, а ее автор, Ефимова Т.В., заслуживает присуждения ученой степени кандидата биологических наук.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в вопросах, которым посвящена настоящая диссертационная работа.

Область интересов доктора биологических наук, Микаэляна Александра Сергеевича – влияние факторов среды на первичную продукцию морских экосистем. Он является специалистом по структуре и динамике морского фитопланктона.

Область научных интересов доктора биологических наук, Соловченко Алексея Евгеньевича – фотофизиология микроводорослей, механизмы устойчивости фотоавтотрофных микроорганизмов к неблагоприятным условиям среды обитания. Он является специалистом в области биологии и биотехнологии микроводорослей.

Ведущая организация – ФГБУН Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва Дальневосточного отделения Российской академии наук (ТОИ ДВО РАН) – является крупным научным центром по океанологии и экологии Океана. Сотрудники лабораторий палеоэкологии и морской экотоксикологии занимаются прогностическим мониторингом водных экосистем, изучают экосистемные изменения и проводят оценку способности к адаптации массовых видов гидробионтов, исследуют продукционные характеристики бактерио- и фитопланктона, исследуют влияние гидрофизических и гидрологических условий среды на подводную освещённость, разрабатывают алгоритмы для трансформации данных дистанционного зондирования цвета моря в показатели качества и продуктивности вод.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

показано, что микроводоросли, не содержащие фикобилины, не способны к комплементарной хроматической адаптации;

отмечено, что при условии сбалансированности световых условий по количеству поглощенных пигментами клеток квантов, в расчете на концентрацию хлорофилла а, спектральный состав света не влияет на структурные характеристики водорослей и цианобактерий;

доказано, что у цианобактерий поглощённая энергия используется в процессе синтеза органического вещества и роста клеток с максимальным квантовым выходом на свету комплементарном полосе поглощения соответствующих фикобилинов, что связано с особенностью строения и функционирования фотосинтетического аппарата цианобактерий;

установлена комплементарность полосы поглощения света фикоэритрином спектральным свойствам солнечного излучения, проникающего к нижней границе зоны фотосинтеза в условиях как Чёрного моря, так и озера Байкал, что приводит к увеличению удельной эффективности использования света в процессе фотосинтеза;

обосновано, что спектральный состав света в среде является ключевым фактором, влияющим на развитие определенных таксонов фитопланктона в нижней части зоны фотосинтеза в условиях светового лимитирования при наличии плотностной стратификации вод в пределах освещенного слоя как морских, так и пресных вод;

обнаружено, что увеличение численности фикоэритрин-содержащих видов фитопланктона и их доли в биомассе фитопланктона наблюдается на горизонтах, находящихся ниже слоя глубинного максимума флуоресценции хлорофилла а, что говорит о бóльшем показателе компенсационной глубины у фикоэритрин-содержащих видов, в сравнении с другими таксонами в фитопланктоне.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

обоснована целесообразность использования экспериментального подхода к анализу хроматической адаптации культур микроводорослей и цианобактерий, основанного на сбалансированности спектральных световых условий по количеству квантов света, поглощаемых пигментами в расчёте на единицу концентрации хлорофилла а;

выявлена видоспецифичность зависимости структурных и функциональных характеристик микроводорослей и цианобактерий от спектрального состава света, что расширяет понимание закономерностей формирования экониш отдельных таксонов;

получены новые данные об изменчивости спектральных показателей поглощения света пигментами фитопланктона в Чёрном море и озере Байкал. В условиях плотностной стратификации вод в пределах освещенного слоя для фитопланктона, существующего в нижней части зоны фотосинтеза, определены спектры показателей поглощения света с плечом на длине волны ~490 нм и локальным максимумом на ~550 нм, что соответствует полосам поглощения фикоуробилина и фикоэритробилина, входящих в состав фикоэритрина, являющегося пигментом-маркером у цианобактерий и криптофитовых водорослей.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

установлены особенности спектральных показателей поглощения света пигментами фитопланктона и их различие между слоями зоны фотосинтеза, что позволит уточнить моделирование светового поля и первичной продукции фитопланктона на основе спектрального подхода, учитывающего влияние обилия и таксономического состава фитопланктона на проникающее излучение и на способность фитопланктона использовать солнечный свет в процессе фотосинтеза;

- *данные* о спектральных показателях поглощения света фитопланктоном *необходимы* для развития оперативных методов оценки продуктивности вод Чёрного моря и озера Байкал с использованием передовых технологий – дистанционного зондирования Земли из космоса.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

экспериментальные работы на культурах микроводорослей и цианобактерий осуществлены с использованием современных, хорошо апробированных методик;

полевые исследования проведены в различные сезоны на сетке станций с достаточно высокой дискретностью;

теория согласуется с опубликованными данными по теме диссертации и по смежным отраслям;

идея базируется на обобщении передового опыта теории и практики ведущих российских и зарубежных исследований в области световой адаптации фитопланктона, в частности к спектральному составу света;

использованы сравнения авторских данных и литературных данных по рассматриваемой тематике;

установлено соответствие и специфика полученных автором данных со сведениями в известных работах других исследователей;

использованы тщательно спланированные схемы проведения экспериментальных и полевых работ, современные методы исследования.

Личный вклад соискателя состоит в том, что автором выполнен анализ имеющихся литературных данных, спланирован и проведён комплекс экспериментальных и лабораторных работ. Соискатель принимал участие в полевых исследованиях и обработке экспедиционных проб. Полученные результаты, качественно обобщенные и проанализированные автором, явились основой для публикаций национального и международного уровней. Соискателем самостоятельно сформулированы выводы работы и защищаемые положения, подготовлена рукопись диссертации.

В ходе защиты диссертации были высказаны критические замечания относительно необходимости указания не только качественных характеристик света различного спектрального состава, но и его количественного описания (в том числе указания соответствующих длин волн), о недостаточности некоторых методических сведений, о необходимости дополнительного разъяснения значения некоторых используемых терминов, технические замечания к иллюстративному материалу и указания на стилистические неточности.

Соискатель Ефимова Т.В. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и замечания, согласилась с рядом замечаний, дала разъяснения по используемой терминологии, предоставила интересующие сведения по используемой методике и количественным характеристикам света различного спектрального состава.

На заседании 25.02.2022 диссертационный совет принял решение: за исследование влияния спектрального состава света на структурные и функциональные характеристики цианобактерий и микроводорослей и решение научных задач, имеющих теоретическое и практическое значение для развития гидробиологических исследований присудить Ефимовой Татьяне Владимировне ученую степень кандидата биологических наук по специальности 1.5.16 – Гидробиология.

При проведении электронного тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 13 докторов наук, участвовавших в заседании,

из 19 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 14, против 0.

Председательствующий на заседании
диссертационного совета

Стельмах Людмила Васильевна

Ученый секретарь
диссертационного совета

Поспелова Наталья Валериевна

25.02.2022

Подписи Л.В. Стельмах и Н.В. Поспелова

удостоверено

уч. секрет. РИСУ им. В.В. Шуваева

Людмила

Н.А. Ковалева