

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу ЕФИМОВОЙ Татьяны Владимировны
«ДЕЙСТВИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТА НА СТРУКТУРНЫЕ И
ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ»

представленной на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности
1.5.16 – Гидробиология

Основными абиотическими факторами среды, определяющими развитие фитопланктона, являются температура воды, обеспеченность биогенными элементами и освещенность. Последняя практически всегда, рассматривается как суммарный поток квантов, доступный водорослям. Работа Т.В. Ефимовой посвящена исследованию влияния спектрального состава света на планктонные водоросли. Нельзя сказать, что такие работы не проводились ранее. Но, в процентном отношении, доля таких исследований в общем пуле исследований факторов, определяющих пигментную структуру и физиологию фитопланктона, крайне мала. Это, безусловно, определяет ее актуальность и значимость для фундаментального знания.

В Черном море, долговременные тренды показывают существенные изменения экосистемы, проходящие под влиянием антропогенного воздействия, которые включают загрязнение бассейна моря органическими веществами и эвтрофикацию, приводящую к повышению продуктивности. Как следствие, изменяется не только абсолютный уровень освещенности в верхнем слое моря, но и спектральный состав света. Понимание того, как последний фактор определяет конкурентные способности разных групп водорослей и их ростовые характеристики, необходим для анализа долговременных изменений экосистемы моря, а также для прогноза ее развития при различных сценариях антропогенного воздействия. Это также определяет высокую актуальность данной работы.

Диссертация состоит из введения, 6 разделов, выводов и списка литературы. Во введении обосновывается актуальность данного исследования и формулируется цель и задачи исследования, новизна полученных результатов. Имеются некоторые нечеткости формулировок. В первом положении, вынесенном на защиту, утверждается, что характеристики некоторых микроводорослей «не зависят от спектрального состава света, при условии сбалансированности по

количеству поглощенных квантов». Что здесь означает сбалансированность, не ясно. По-видимому, имеется в виду одинаковое количество квантов. В диссертации встречаются проблемные словосочетания, такие как «единичная концентрация» или «фитопланктонное сообщество», что есть тавтология, ибо фитопланктон по определению есть сообщество планктонных водорослей. На стр. 12 указано что, «достоверность данных обеспечена использованием современных методик» что верно, а также «статистической обработкой результатов». На самом деле статистическая обработка определяет достоверность выводов, а не данных.

В первой главе приведен достаточно обширный литературный обзор. Рассмотрено влияние спектра света на изменения пигментного состава в клетках водорослей, количества основного пигмента хлорофилла «а», содержание органического углерода и азота в клетках планктонных водорослей, поглощение световой энергии пигментами микроводорослей и цианобактерий, квантовый выход фотосинтеза и скорость роста клеток. Обзор заканчивается заключением, из которого, в частности, следует, что изменения пигментного состава и физиологических характеристик при адаптации микроводорослей к свету различного спектрального состава настолько разнообразны, что не укладываются в единую систему, что однозначно свидетельствует о сложности данных исследований. Обзор включает порядка двухсот работ, среди которых много современных публикаций. К сожалению, в обзоре и во всем тексте автор использует крайне не дружественную для читателя систему цитирования, при которой ссылки на публикации даются цифрами. При этом список литературы составлен не в порядке появления ссылок в тексте, а в алфавитном. Это вынуждает читателя постоянно переключаться на список литературы и просматривать его практически от и до. Так, например, на стр. 8 в двух расположенных рядом скобках указаны последовательности, состоящие из 5 и 17 ссылочных номеров в диапазоне от 1 до 201. Следует отметить, что, в автореферате, ссылки на литературу даны в адекватном формате.

Во втором разделе изложены методы исследований, которые включают описание лабораторных экспериментов и полевых измерений. Подробно описаны объекты культивирования, использованные питательные среды и условия выращивания. Крайне важно, что при проведении экспериментов под влиянием спектрального состава, во всех вариантах водоросли получали одинаковое количество квантов света, поглощенных пигментами клеток в расчете на их концентрацию, что позволяло проводить корректное сравнение. Большой материал по спектрам

абсорбции света фитопланктоном был собран в пяти полномасштабных экспедициях в Черное море и в одной на озеро Байкал. В разделе подробно описаны использованные методы определения содержания пигментов в клетках микроводорослей и цианобактерий, поглощения света пигментами, содержания структурных элементов в клетках, и прямого счета клеток. Все использованные методы современны и достаточно надежны, что обеспечивает достоверность полученных данных.

К разделу имеются следующие замечания.

1. Отсутствует структурированное описание использованного материала с указанием степени участия автора в его получении. Понятно, что объем материала очень большой, но представить объем без соответствующей таблицы, где было бы приведено количество проведенных экспериментов, сделанных определений концентрации пигментов, измеренных спектров, станций, проб и т. п., крайне сложно.

2. В описании использованных культур водорослей автор указывает что «В Чёрном море род *Nitzschia* найден у берегов Карадага». На самом деле, этот род распространен в Черном море повсеместно, что известно еще по работам Морозовой-Водяницкой (1954, 1957). Он образует мощнейшие цветения в зимне-весеннее время года, часто составляя основу биомассы фитопланктона (например, Krupatkina et al., 1991).

3. Хорошо известно значение размеров и объемов клеток для физиологии водорослей. При описании использованных культур автор снабжает читателя этой информацией только об одном штамме цианобактерий. Для остальных 5 объектов экспериментальных исследований такая информация здесь не приводится. Еще для клеток двух штаммов цианобактерий объемы даются совсем в другом разделе.

4. В подробно описанных методах определения пигментов не хватает сведений о объеме профильтрованной воды.

5. Таблица расчетных значений PUR (количество квантов света, поглощенных пигментами клеток) приведена на ст. 39 без всяких ссылок на описание методики расчета. И только на стр. 48 читатель, наконец-то, может с ней ознакомиться.

6. Отсутствует описание схем экспериментов. В итоге сложно понять, каково общее количество проведенных опытов, какие варианты экспериментов и в скольких повторностях были они сделаны.

В третьем разделе рассматривается влияние спектрального состава света. На основании проведенных экспериментов, автор делает важный вывод, о том, что у микроводорослей и цианобактерий не отмечено комплементарной хроматической адаптации, которая заключается в относительном увеличении в клетках содержания пигментов, диапазон поглощения света которых соответствует спектральным характеристикам падающего света. Также не было обнаружено влияния на отношения углерода-к-азоту и углерода-к-хлорофиллу в клетках. Это весьма важные результаты, так как они, например, позволяют не учитывать изменение спектра света при исследовании вертикального распределения этих параметров.

Необходимо отметить, что таблицы и рисунки в этом разделе и по всему тексту содержат значения с указанием разброса. При этом, что это означает не указано. Если это, например, стандартная ошибка среднего, то удивляет ее постоянство – подавляющее большинство укладывается в $\pm 10\%$ (например, Таблица 3.1, Рис. 3.1 и т.д.).

В четвертом разделе рассматривается влияние спектрального состава света на функциональные характеристики микроводорослей и цианобактерий. Существенным результатом является обнаружение комплементарной адаптации скоростей роста цианобактерий. Максимальные скорости роста у пресноводной цианобактерии наблюдались на красном свете, соответствующим полосе поглощения фикоцианина, а у морских цианобактерий на зеленом свете, соответствующим полосе поглощения фикоэритрина. Это, в частности, хорошо согласуется с глубинными максимумами численности цианобактерий в летнее время в Черном море.

Также, у пресноводных фикоцин-содержащих пикоцианобактерий, в отличие от культур микроводорослей, отмечено увеличение квантового выхода роста на красном свете и уменьшение на синем свете, что комплементарно полосам поглощения пигмента фикоцианином. К сожалению, подобные исследования с черноморской пикоцианобактерией проведены не были.

В пятом разделе приведены результаты полевых исследований хроматической адаптации природного фитопланктона. Подробно рассмотрены спектры показателей поглощения света пигментами, полученные в разные годы и сезоны в Черном море и на озере Байкал. Существенно,

что многие спектры сгруппированы по трем слоям: поверхностном, термоклине и субтермоклине. Найдены различия между группами спектров в этих слоях. Также проанализировано вертикальное распределение пигментов фитопланктона.

Автор постоянно соотносит изменения спектрального состава пигментов с условиями освещенности, которые изменяются как в сезонном плане, так и с глубиной. Это носит детальный описательный характер. Было бы логично в конце обобщить полученные измерения и построить зависимость формы спектра (например, соотношение показателей поглощения света в синем и красном максимумах спектров поглощения света пигментами; или пика на полосе фикоэритрина) в зависимости от освещенности. Это существенно повысило бы фундаментальную ценность проведенных исследований. То же можно отнести и к последнему подразделу, где рассматривается вертикальное распределение концентрации хлорофилла, феопигментов и фикоэритрина. Однако данные соображения относятся скорее не к замечаниям, а к рекомендациям.

В обсуждении полученные результаты рассматриваются в сопоставлении со структурными особенностями строения пигментного аппарата микроводорослей и цианобактерий. Именно с этим автор связывает тот факт, что только для цианобактерий изменения величины скорости роста клеток зависели от спектральных условий освещения. В последней части раздела, адаптация к спектральному составу света рассматривается с точки зрения конкурентных преимуществ исследованных групп микроводорослей и цианобактерий. Показано, что это обуславливает пространственное распределение некоторых таксонов. Обзор содержит большое количество ссылок на литературные источники, многие из которых современные. Обзор хорошо структурирован и касается практически всех полученных результатов.

Семь выводов, завершающих диссертацию, вполне обоснованы полученными результатами, четко сформулированы и соответствуют поставленным задачам. Незначительное замечание касается вывода №7 о том, что увеличение численности фикоэритрин-содержащих видов фитопланктона, их доли в биомассе фитопланктона наблюдается на горизонтах ниже слоя глубинного максимума флуоресценции хлорофилла а, приуроченного к 1%-ому ФАР, что звучит чрезмерно категорично. Исследования вертикального распределения количества цианобактерий и криптофитовых водорослей, показывают, что в Черном море максимумы биомассы этих групп

водорослей, в большинстве случаев, находятся в диапазоне глубин от 1 до 5% от поверхностной ФАР (напр. Mikaelyan et al., 2021). Поэтому более корректно было бы использовать в выводе уточняющее «иногда».

Замечания к диссертации не умаляют основных достоинств работы и не принципиальны с точки зрения общей, однозначно хорошей оценки работы. Автореферат отражает содержание диссертации. Приведенный в автореферате список публикаций по теме диссертации содержит 12 работ в рецензируемых журналах, из них 6 статей в изданиях индексируемых в базах Web of Science и/или Scopus. Данный список, безусловно, свидетельствует о высоком профессиональном уровне соискательницы.

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. достойна присуждения ей ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.16 – «гидробиология».

Доктор биологических наук,

ведущий научный сотрудник Лаборатории структуры и динамики планктонных сообществ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук

 Александр Сергеевич Микаэлян

ИО РАН, 117997, Москва, Нахимовский просп., 36

e-mail: mikaelyan@ocean.ru; +7 (499) 124-59-74

25 января 2022 г.



Верно:

Зав. канцелярией ИО РАН

