

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Попика Александра Юрьевича «Динамика спектров лазерно-индуцированной флуоресценции хлорофилла-а фитопланктона в условиях меняющихся параметров внешней среды» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 - «Лазерная физика».

Актуальность выбранной темы исследования

Тема диссертации является актуальной в связи с той важностью, которой является изучение фитопланктонных сообществ. По последним оценкам жизнедеятельность клеток фитопланктона в Мировом океане обеспечивает около половины всей фиксации атмосферного CO_2 и выделения кислорода на Земле. Клетки фитопланктона являются основой биологической цепи в океане, их функциональное состояние может быть использовано для оперативной оценки экологического состояния водных акваторий. Концентрация хлорофилла-а (хл.-а), основного пигмента клеток фитопланктона, является одним из основных факторов, изменяющих цвет моря, который возможно регистрировать со спутников. Фитопланктонные сообщества быстро реагируют на изменения внешней среды, они способны менять свое физиологическое состояние за секунды и минуты, и обновлять свою популяцию за несколько дней и недель.

Все перечисленное очерчивает тот широкий круг задач, который возможно решать, исследуя состояние фитопланктонных сообществ. Изучение глобального цикла углерода, климатических изменений, взаимодействия климатообразующих факторов, глобальный экологический мониторинг, детектирование вредоносных цветений водорослей, поиск вероятных скоплений рыб и китов, и т.п. Разные задачи решаются на разных временных и пространственных масштабах от секунд до десятилетий, и от метров до километров.

Таким образом, для изучения всевозможных перечисленных процессов требуются методы, позволяющие измерять параметры, характеризующие состояние фитопланктонных сообществ, за короткие промежутки времени, и при этом, данные методы должно быть возможно использовать в течение длительного времени (дни, месяцы и сезоны) на различных подвижных платформах, таких как подводные и летательные аппараты, суда, спутники.

Сложно ожидать, что один метод способен удовлетворить все перечисленные требования. Метод лазерно-индуцированной флуоресценции (ЛИФ) хл.-а клеток фитопланктона, который взят за основу в данной работе, является одним из наиболее

универсальных методов оперативного изучения состояния фитопланктонных сообществ, удовлетворяющих большинство перечисленных выше требований к пространственно-временному разрешению измерений. Метод был разработан еще в 70-х годах XX столетия, и получил широкое распространение в 80-х годах, однако он не утратил своей актуальности и сейчас.

Во-первых, в настоящее время возможны модификации метода ЛИФ в соответствии с последними достижениями в оптике и лазерной физике в части появления новых детекторов оптического излучения, развития индустрии оптических волокон, новых источников лазерного излучения с улучшенными эксплуатационными характеристиками и новыми возможными длинами волны монохроматического излучения. Это позволяет расширить использование метода на подводных аппаратах и в лидарных системах, которые возможно использовать на беспилотных летательных аппаратах и на спутниках.

Во-вторых, остается круг не решенных задач, ограничивающих использование метода ЛИФ. Это зависимость сигнала флуоресценции хл.-а от целого ряда факторов помимо концентрации хл.-а, главными из которых являются: видовой состав и функциональное состояние клеток фитопланктона, освещенность в водной среде, температура воды. С одной стороны – эти зависимости определяют недостатки метода ЛИФ для оценки концентрации хл.-а, а с другой стороны открывают новые возможности для изучения видového состава и функционального состояния клеток фитопланктона при тщательном изучении сигналов флуоресценции хл.-а с учетом изменений температуры и освещенности окружающей среды.

Тема работы затрагивает оба перечисленных аспекта современной актуальности метода ЛИФ. С одной стороны разрабатывается инновационная оптоволоконная система, позволяющая заводить лазерное излучение под воду и проводить измерения на различных глубинах без погружения дорогостоящего оборудования. С другой стороны исследуется зависимость регистрируемой интенсивности флуоресценции хл.-а от изменений температуры воды и освещенности в водной среде, что может быть использовано для увеличения точности определения концентрации хл.-а и для решения обратных задач по определению видového состава и функционального состояния клеток фитопланктона.

Достоверность научных положений и выводов

Полученные результаты являются достоверными, что основывается на обширном литературном обзоре, результатах теоретических расчетов, лабораторных и натуральных

экспериментах. Дано логичное описание наблюдающимся явлениям, результаты экспериментов могут быть повторены в тех же условиях наблюдений.

Полученные результаты представлены на достаточном количестве российских и международных конференциях, опубликованы в 5 рецензируемых журналах из списка ВАК, защищены в одном патенте на изобретение.

Научная новизна научных положений и выводов

Впервые авторами проведены исследования влияния изменений температуры воды и внешней освещенности на сигнал ЛИФ хл.-а клеток *Isochrysis galbana*. Получены соответствующие зависимости интенсивности флуоресценции хл.-а от температуры и освещенности морской воды.

Показана принципиальная возможность учета в реальном времени температуры воды и внешней освещенности при определении концентрации хл.-а в составе клеток фитопланктона с помощью метода ЛИФ.

Представлены оригинальные результаты по созданию оптоволоконной системы и соответствующей методики измерений для определения ЛИФ хл.-а клеток фитопланктона с учетом температуры и освещенности внешней среды.

Обоснованность научных положений и выводов

В целом научные положения и выводы обоснованы. В первом защищаемом положении теоретически и экспериментально доказана необходимость учета температуры воды и внешней освещенности при измерении концентрации хл.-а. Второе положение справедливо для заданного диапазона уровней внешней освещенности и температуры воды, и используемого вида клеток фитопланктона при которых наблюдались полученные результаты, что было бы желательно уточнить. Третье положение сформулировано правильно для предложенной новой методики, при этом соответствующие результаты наиболее ценны не только с точки зрения полученной методики с конкретными зависимостями, которые справедливы для отдельного диапазона контролируемых параметров внешней среды, а больше с точки зрения общего разработанного подхода к проведению измерений концентрации хл.-а методом ЛИФ. В четвертом положении, в соответствии с текстом главы 3, необходимо было бы добавить «... при фиксированном расстоянии между волокнами». Приведенные выводы соответствуют тем результатам, которые представлены в диссертационной работе.

К диссертационной работе и автореферату есть следующие замечания:

1. Не аккуратно проведен литературный обзор во введении к диссертации, где говорится об актуальности проводимых исследований. Приводится много фактов, на которые даются некорректные ссылки на литературные источники. В данных ссылках об этих фактах говорится крайне поверхностно без приведения результатов подтверждающих исследований. В остальных главах работы литературный обзор проведен на должном уровне.

2. При защите второго положения требуется уточнение диапазона уровней внешней освещенности в единицах фотосинтетически активной радиации и значений концентрации хл.-а при которых наблюдаются полученные зависимости. Без этого не ясно как полученные результаты соотносятся с естественными уровнями внешней освещенности и концентрациями хл.-а, наблюдаемыми в природных водах.

3. В эксперименте по изучению влияния температуры воды на интенсивность флуоресценции хл.-а не было рассмотрено возможное дополнительное влияние эффектов фотохимических и нефотохимических процессов тушения флуоресценции хл.-а. Данные эффекты могли наблюдаться, поскольку одна и та же проба воды облучалась непрерывным лазерным излучением, и после каждого измерения смена воды не проводилась.

4. Преимущество использования методики, предложенной автором в третьем защищаемом положении, показано только для одного ряда натуральных экспериментов. При этом только в 3-х точках из 12-и была не нулевая освещенность, и только в двух точках наблюдался эффект увеличения ошибки определения концентрации хл.-а при увеличении освещенности (см. рис. 2.2 и рис. 2.17 диссертации). Не была проведена оценка статистической значимости данного эффекта.

5. Автор говорит о повышении чувствительности измерений интенсивности флуоресценции хл.-а в два раза при использовании подхода, защищаемого в четвертом положении (например, абзац 2 стр. 15 автореферата). Здесь можно говорить только о повышении интенсивности регистрируемого сигнала.

6. В главе 4 интерпретация многих наблюдаемых результатов в натуральных экспериментах основывается на влиянии температуры и освещенности на эффективность флуоресценции хл.-а. При этом не уделяется должного внимания комбинации основных факторов, лимитирующих рост клеток фитопланктона, что значимо влияет на концентрацию хл.-а, которая в свою очередь является одним из главных параметров, влияющих на сигнал флуоресценции хл.-а.

7. Выводы, сформулированные в конце четвертой главы и в последних двух абзацах автореферата, приведены в излишне утвердительной форме, однако они могут являться лишь предположениями, частично основанными на результатах автора и частично на литературном обзоре.

8. Общими замечаниями к автореферату являются: Отсутствие полноценных подписей рисунков; Нет дополнительного буквенного или цифрового обозначения рисунков, в случае если несколько рисунков сгруппированы в один; Присутствуют ошибки и неточности. Описание на рис. 1 не корректно, поскольку на графике в нижнем левом углу по оси абсцисс отложены не значения освещенности, а мощности источника внешнего освещения. Область 3 на рис. 3 введена в описании, но на самом рисунке не обозначена. Особенно сложно читается рис. 4 автореферата, где в левом столбце приведены графики для различных значений необозначенного параметра, а сам рисунок напечатан в черно-белом варианте. Переменные Ω и θ , скорее всего, являются обозначениями одной и той же величины.

9. По оформлению диссертации есть ряд замечаний. Нет единого подхода к оформлению содержания и рисунков. Часть рисунков приведена в рамках, часть нет. На одних рисунках оси подписаны через использование переменных, на других через словесное указание отображаемых параметров. На некоторых рисунках отсутствуют единицы измерений отображаемых величин. Рисунки группируются в один рисунок, при этом не разделены буквами или дополнительными цифрами, что затрудняет восприятие материала. На стр. 72 приведена ссылка на несуществующую формулу (4), из чего сложно проследить ход мысли при выводе формул.

Общий вывод

В работе содержится решение задачи и получены результаты, имеющее значение для развития лазерных методов исследования природных водных сред. Результаты могут быть использованы для создания комплексных биофизических моделей функционирования фитопланктонных сообществ и формирования ими сигналов лазерно-индуцированной флуоресценции. Нельзя ожидать полноценного решения указанной проблемы в рамках одной диссертации, поскольку вопрос является очень сложным и многогранным, и, несомненно, требующим всестороннего рассмотрения. Данная работа является ценной частью решения общей проблемы. Технические решения, представленные в работе, могут найти применение при оперативном исследовании состояния фотосинтетического аппарата клеток фитопланктона и растворенных органических веществ в водной среде.

Указанные замечания не умоляют важность и полезность рассматриваемой диссертации, поэтому считаю, что диссертация Попика А.Ю. отвечает критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – «лазерная физика».

11.06.2015

Официальный оппонент:

Заведующий лабораторией

Лазерной оптики и спектроскопии,

к.ф.-м.н.

П.А. Салюк.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева
Дальневосточного отделения Российской академии наук

690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, д. 43

psalyuk@poi.dvo.ru, тел. +79020548684



ответственно ручную подпись *Салюка П.А.*
УДОСТОВЕРЯЮ
Зав. общим отделом ТОИ ДВО РАН
"11" 06 2015 г.