

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИОА СО РАН им. В.Е.Зуева
д.ф.-м.н., профессор
Матвиенко Г.Г.



О Т З Ы В

ведущей организации на диссертационную работу Попика Александра Юрьевича
**«ДИНАМИКА СПЕКТРОВ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ
ХЛОРОФИЛЛА-а ФИТОПЛАНКТОНА В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩИХСЯ
ПАРАМЕТРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ»**, представленной на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика

В диссертационной работе А. Ю. Попика на основе теоретических и экспериментальных исследований проведена разработка методики лазерно-индуцированной флуориметрии для определения концентрации хлорофилла-а фитопланктона, учитывающей изменение параметров внешней среды, а именно освещенности и температуры.

Одним из наиболее эффективных методов исследования концентрации хлорофилла-а фитопланктона является метод лазерно-индуцированной флуоресценции. Эффективность данного метода характеризуется высокой чувствительностью, оперативностью, возможностью вызвать нелинейные эффекты флуоресцентного сигнала, кроме того, флуоресцентные измерения не причиняют вреда исследуемым организмам и способны осуществлять неразрушающий контроль. Фитопланктон может служить индикатором чистоты воды объектов, которое имеют особо важное значение для индустрии туризма и рекреации.

В диссертационной работе решается **актуальные** задачи исследования воздействия освещенности и температуры среды на спектральную плотность лазерно-индуцированной флуоресценции хлорофилла, находящегося в составе клеток фитопланктона, создания экспериментальной установки, разработки соответствующей методики вычисления концентрации хлорофилла и ее апробации при проведении экспедиционных исследований распределения фитопланктона в морских акваториях.

А. Ю. Попик зарекомендовал себя сложившимся специалистом в области создания методик и систем лазерно-индуцированной флуориметрии фитопланктона. Результаты данной работы хорошо известны специалистам отрасли и получили **апробацию** и обсуждение на различных представительных отечественных и международных конференциях. Основные результаты изложены в 5 рецензируемых статьях из списка ВАК в центральной печати. Получен патент на изобретение.

Объем диссертации составляет 145 страниц, включая 66 рисунков и 82 ссылки на литературные источники, и содержит всю необходимую информацию о результатах теоретических и экспериментальных исследований. В целом структура текста выстроена логично, что позволило автору органично и последовательно переходить от одной из поставленных задач к другой. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы. Каждая глава диссертации связана с решением одной из поставленных задач. В конце каждой главы приводятся основные результаты и выводы, что существенно облегчает оценку полученных результатов и степень их соответствия защищаемым положениям.

В первой главе рассматриваются методические аспекты определения концентрации хлорофилла-а фитопланктона по интенсивности лазерно-индукционной флуоресценции. Показана возможность использования фитопланктона как биоиндикатора различных изменений, протекающих в среде его обитания. Обоснована необходимость модернизации методики расчета концентрации хлорофилла природного фитопланктона по интенсивности ЛИФ с учетом изменений параметров внешней среды, а именно освещенности и температуры. Обосновано использование оптоволоконного датчика для измерения спектров ЛИФ фитопланктона. Показана необходимость построения модели такого датчика, для изучения его характеристик при измерении спектров ЛИФ фитопланктона в воде.

Во второй главе приведено решение задачи изучения зависимости спектров ЛИФ хлорофилла-а живых клеток фитопланктона, обитающих в естественных условиях и развитию методики расчёта концентрации хлорофилла-а в воде с учетом ее физических параметров. В главе подробно описана и исследована динамика спектров ЛИФ, как реакция на различные меняющиеся факторы. Доказано, что при измерении концентрации хлорофилла-а методами ЛИФ необходимо измерять максимальную флуоресценцию, которая возникает только при возбуждении ЛИФ насыщающим излучением. Экспериментально установлен характер влияния на спектральную плотность ЛИФ хлорофилла-а таких физических параметров среды обитания фитопланктона как температура и освещенность. Предложена новая форма выражения коэффициента пропорциональности для учета влияния параметров среды на значение рассчитываемой концентрации хлорофилла-а, в которой коэффициент пропорциональности концентрации и интенсивности ЛИФ определяется как функцию, учитывающую меняющиеся физические параметры среды.

В третьей главе представлен описание экспериментальной установки для изучения флуоресценции хлорофилла-а в воде. Проведено исследование элементов измерительного комплекса. Создана математическая модель двухволоконного датчика ЛИФ, позволяющая проводить расчет активной области датчика, то есть тот объем среды, в котором возбуждается и измеряется лазерно-индукционная флуоресценция. Предложены несколько

решений для увеличения чувствительности датчика: за счет увеличения возбуждающей мощности лазера и увеличения активной области и за счет приближения активной области вплотную к торцам волокна. Описан измерительный комплекс для определения концентрации хлорофилла-*a* по спектрам ЛИФ. Важным преимуществом созданного комплекса является «изоляция» измерительной техники от среды, в которой проходит измерение. Разделение измерительной системы на бортовую и погружаемую части не только увеличивает надежность и универсальность комплекса, но и делает измерение более «не инвазивным», то есть уменьшает воздействие на объект измерения. Бортовая часть осуществляет возбуждение ЛИФ, измерение и обработку спектров ЛИФ, управление автоматизированной лебедкой. Погружаемая часть включает в свой состав датчики ЛИФ, давления, температуры и освещенности и обеспечивает измерения на заданных глубинах.

В четвертой главе приведены результаты измерений, полученные во время проведения испытаний экспериментальной измерительной системы в ряде экспедиционных исследований, которые проводились в акваториях Японского моря. Измерения проводились в закрытых водах Амурского и Уссурийского заливов, у берегов острова Русский, а так же в открытых водах Дальневосточного морского заповедника в районе мыса Шульца. Станции выполнялись в местах с различной глубиной, не превышающей 30 метров в Амурском заливе, и до 100 метров в районе Русского острова. Показано практическое применение методики расчета концентрации хлорофилла-*a* по данным интенсивности ЛИФ. В результате анализа проведенных экспедиционных исследований было экспериментально подтверждено, наличие зависимости интенсивность ЛИФ хлорофилла-*a* в составе клеток природного фитопланктона от температуры и освещенности среды обитания. Было установлено, что видовой состав фитопланктона меняется с течением времени, и такое изменение может носить периодический характер. Замечено, что в 2012 году преобладали вида микроводорослей более стойкие к изменениям параметров среды, по сравнению с другими годами. Экспедиционные измерения позволили показать возможность оценки экологического состояния акваторий при помощи ЛИФ измерений, необходимость учета зависимости состояния клеток фитопланктона при выполнении измерений ЛИФ в естественной среде.

В заключении сформулированы основные результаты работы и показан личный вклад автора.

Большинство полученных автором результатов носит приоритетный характер и удовлетворяет критерии **новизны**.

Представленные в диссертации материалы являются результатам успешной широкой научной кооперации, что также является достоинством данной работы.

Анализ результатов исследований, выполненных диссертантом, позволяет оценить **научную и практическую значимость** диссертационной работы, которая обусловлена применением полученных в ней результатов для решения фундаментальных и прикладных задач лазерной флуоресцентной спектроскопии, биофизики и экологии, а именно:

- в исследованиях динамики сезонных изменений фитопланктона и при построении вертикальных профилей распределения концентрации фитопланктона;
- при разработке лазерных методов биоиндикации состояния водных экосистем с использованием оптоволоконного датчика лазерно-индуцированной флуоресценции;
- при разработке лазерных систем экологического мониторинга водных объектов.

Достоверность результатов и выводов обеспечивается теоретической проработкой предложенных методологических подходов и гипотез, многократным повторением экспериментов, использованием для получения результатов нескольких различных методик. Полученные экспериментальные данные согласуются с результатами исследований других авторов.

К недостаткам диссертации следует отнести следующие.

1. Во второй главе на стр. 74 утверждается, учет изменения факторов среды по новой методике позволяет снизить ошибки, возникающие при определении концентрации хлорофилла-а методом лазерно-индуцированной флуориметрии в 5-10 раз, но никаких подтверждений этому в тексте диссертации не приводится.

2. В работе допущен ряд опечаток, так, например, в названии главы 1 на стр. 12. присутствует цифра «7.».

3. На стр. 13 приведена формула без нумерации, хотя дальше (со стр. 21 формула 1.1) по тексту нумерация имеется.

4. На целом ряде приведенных в диссертации рисунках отсутствуют интервалы погрешностей экспериментальных измерений, что затрудняет оценку результатов измерений (рисунки 2.1, 2.2, 2.3, 2.9, 2.11, 2.13, 2.14, 2.15, 2.16, 2.17, 2.18, 3.15, 4.3, 4.5, 4.6).

Указанные недостатки не влияют на общую высокую оценку выполненной А.Ю. Попиковым диссертационной работы.

Совокупность полученных результатов и сформулированных на их основе защищаемых положений соответствует критериям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автограферат соответствует содержанию диссертации.

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой содержится решение задачи разработки новой методики лазерно-индуцированной флуориметрии для определения концентрации хлорофилла-а фитопланктона, имеющей важное значение для лазерной флуоресцентной спектроскопии, биофизики и экологии, а ее

автор Попик Александр Юрьевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – Лазерная физика.

Отзыв обсужден на семинаре научного направления "Распространение оптических волн и дистанционное зондирование" Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН.

Отзыв составил:

Заведующий НОЦ ИОА СО РАН,

д.ф.-м.н.

Романовский О.А.

Председатель семинара

Заместитель директора ИОА СО РАН по научному направлению

«Распространение оптических волн и дистанционное зондирование»,

д.ф.-м.н.

Землянов А.А.

Секретарь семинара

к.ф.-м.н.

Лавринова Л.Н.

«22» 05 2015 г.