

ОТЗЫВ

официального оппонента **И.В. Самохвалов**

на диссертационную работу **Шибанова Евгения Борисовича**

«Оптические неоднородности морской воды и атмосферы над морем»,
представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических
наук по специальности 25.00.28 – «Океанология»

Актуальность темы диссертационного исследования

Работа Е.Б. Шибанова посвящена широкому кругу вопросов оптики моря, которые имеют фундаментальное значение как для развития физических представлений о рассматриваемых явлениях, так и для разработки новых технологий дистанционной диагностики вол морей и океанов. Она посвящена современным проблемам в области наук о Земле, в число которых входят:

- разработка теории рассеяния и переноса светового излучения в чистых водах морей и океанов;
- проблема атмосферной коррекции спутниковых данных при наличии аэрозоля;
- проблема восстановления биологических характеристик верхнего слоя моря по спектру восходящего излучения;
- проблема молекулярной структуры воды.

Актуальность такой тематики диссертации не вызывает сомнений, поскольку она направлена на решение проблемы мониторинга биологических характеристик верхнего слоя морей и океанов с помощью дистанционных методов спутникового зондирования в оптическом диапазоне длин волн. Ввиду центральной роли воды в функционировании биологических объектов и человека, а также благодаря аномальным и не вполне ясным физическим свойствам воды, проблема ее молекулярной структуры в последнее время интенсивно изучается как теоретическими, так и новейшими экспериментальными методами. Соискатель добавил к этим средствам исследований также и свой подход, основанный на оригинальных оптических измерениях.

Основные результаты и их новизна.

1) В диссертации обобщены результаты многолетних натурных экспериментальных исследований автора гидрооптической информации, полученных им в различных акваториях Мирового океана. С участием автора разработан метод и создан оригинальный прибор для определения показателя рассеяния света морской водой в широком спектральном (380–780 нм) и угловом (0,5–178°) интервалах. Впервые показано, что величина асимметрии индикатрисы рассеяния возрастает с увеличением прозрачности воды и практически всегда наблюдается локальный минимум спектральной селективности рассеянного излучения в области углов 20–30°.

2) Впервые установлено, что причиной высокой анизотропии рассеяния света в воде, очищенной от примесей, может являться пространственное согласование неоднородностей самой воды. Предложен возможный механизм возникновения

пространственно-согласованных неоднородностей состоящий в передаче энергии от малых масштабов ($\sim 3 \cdot 10^{-10}$ м) к большим ($\sim 10^{-5}$ м) при стремлении молекул к случайному распределению. Появление источника энергии внутри жидкой среды автор объясняет асимметрией межмолекулярного потенциала взаимодействия: передача энергии молекул осуществляется посредством собственных гиперзвуковых колебаний среды, а ее диссипация приводит к появлению неоднородностей, сравнимых с длиной световой волны.

3) Предложена модель неоднородностей локальной плотности жидкой воды. Введено понятие «оптической квазичастицы». Выполнены лабораторные эксперименты, подтверждающие правомерность теоретических предположений. На основе сопоставления модельных расчетов и экспериментальных данных оценены параметры функции распределения оптических квазичастиц по размерам,

4) Экспериментально доказано, что при смешивании вод с различной температурой или соленостью в пропорциях 1:20–1:200 рассеяние света увеличивается во всем диапазоне углов. Оценено время релаксации величины показателя рассеяния к первоначальным значениям. Сделаны оценки объемной меры подпространства «дефектов» в воде,

5) Для количественного описания спектрально-угловой структуры однократно рассеянного света предложена модель геометрии неоднородностей. Получены соответствующие аналитические выражения. В результате **впервые** удалось воспроизвести теоретически угловую и спектральную зависимость, наблюдаемую при измерениях углового показателя рассеяния света в хорошо очищенной фильтрованной воде (размеры пор фильтра около 0.2 мкм).

6) Для решения задачи восстановления коэффициента яркости моря по спутниковым данным предложена двухпараметрическая модель коэффициента яркости. Способ параметризации, основан на предположении о постоянстве коэффициента яркости в коротковолновой и длинноволновой областях спектра видимого диапазона длин волн. В результате удалось повысить устойчивость решения обратной задачи биооптики моря, увеличить корреляцию между восстановленными и измеренными концентрациями хлорофилла при обработке данных измерений с платформы.

7) Модернизирован метод расчета характеристик отраженного оптического излучения в море и в атмосфере, который включают: новый более стабильный и эффективный способ расчета рассеяния света на сферических частицах; способ повышения устойчивости расчета параметров световых полей в плоско-параллельной среде с сильной анизотропией рассеяния света; эффективный алгоритм расчета азимутальной зависимости параметров светового поля, не имеющий осциллирующей по азимуту ошибки вычислений. В результате чего заметно уменьшена погрешность расчета потоков рассеянной радиации вне области сингулярности индикатрисы рассеяния и отражения света от водной поверхности.

Степень обоснованности научных результатов, выводов и рекомендаций

Работа включает и экспериментальные, и теоретические исследования. Теоретические результаты работы получены в рамках проверенных и общепринятых методов теоретической физики - электродинамики, радиофизики, статистической физики. Часть этих результатов в виде алгоритмов и

компьютерных кодов на данный момент апробирована в оптических моделях атмосферы и моря в авторитетных зарубежных институтах. Экспериментальные результаты получены с помощью оригинальных приборов, разработанных в отделе оптики моря МГИ с участием автора. Приборы прошли тестирование в ведущих отечественных и зарубежных организациях. Выводы автора, касающиеся рассеивающих свойств воды, согласуются с представлениями о структуре воды, развитыми в других областях науки. Все это позволяет рассматривать данную работу, как вполне обоснованную, а к ее результатам относиться, как к достоверным

Оценка новизны и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

В настоящее время основные усилия специалистов по оптике моря направлены на решение сильно упрощенной физической задачи, но в усложненной математической постановке.. Оптические неоднородности морской воды традиционно связывают со свойствами локальных объектов. Такой подход к оптике моря не в полной мере учитывает многообразие хаотического поведения сложных нелинейных систем, каковой является морская вода

Для объяснения противоречий между классической теорией рассеяния в жидкости и реальными наблюдениями автор предложил свое, совершенно новое представление о собственных оптических неоднородностях воды (~ от 10 до 10 000 нм.). Им предложена модель неоднородностей структуры жидкой воды, в результате чего **впервые** удалось описать спектрально угловую зависимость рассеяния света, наблюдаемую в фильтрованной воде. Введено понятие оптической квазичастицы. Оценены параметры функции распределения оптических квазичастиц по размерам. Проведен эксперимент, подтверждающий согласованный характер расположения квазичастиц относительно друг друга. Оценено время релаксации воды к первоначальному «невозмущенному» состоянию. Сделаны оценки объемной меры подпространства «дефектов» в воде. Сделана попытка учесть эффекты гетерогенности чистой воды при расчете параметров светового поля.

В работе рассматривается классическая задача расчета параметров светового поля в плоско-параллельной среде. Поскольку классические численные алгоритмы «сложения» и «удвоения» чувствительны по отношению к относительной погрешности начального приближения для оптически тонкого слоя, соискателем предложено эффективное и более точное начальное приближение для коэффициентов отражения и пропускания оптически тонких слоев. Даны рекомендации для выбора величин оптической толщины начального слоя в зависимости от анизотропии рассеяния.

Предложен новый подход решения задачи восстановления коэффициента яркости моря со спутника. Для оценки яркости моря в коротковолновой области спектра предложена двухпараметрическая модель коэффициента яркости. В качестве параметров модели используются показатель обратного рассеяния

взвешенных частиц и показатель поглощения неживой органики. На основе этой модели стало возможным дать оценку величины коэффициента яркости в «синей» области спектра, а следовательно улучшить метод атмосферной коррекции в задаче дистанционного зондирования Черного моря в оптическом диапазоне. Алгоритм апробирован на данных измерений оптического сканера SeaWiFS.

Для решения обратной задачи определения концентрации хлорофилла предложен метод минимизации функционала, позволяющий учесть модельные погрешности. Благодаря новому методу оптимизации повышается точность определения биологических параметров и стабилизируется решение обратной задачи.

Стиль изложения, отражение результатов в научных изданиях

Автор показал грамотные научно обоснованные подходы к решению поставленных в диссертационном исследовании задач. Диссертация написана грамотно, логично, содержит корректные ссылки на работы других авторов.

Автореферат соответствует основным положениям диссертации, правильно и достаточно полно передает ее содержание, оформлен в соответствии с требованиями. Стиль представления материала в автореферате позволяет ясно представить сформулированные в диссертации задачи исследования, основное содержание и идеи работы, а также выводы и рекомендации.

Результаты работы были представлены и обсуждены на международных и национальных конференциях и семинарах: По теме диссертации опубликовано 33 научные работы, 26 из них удовлетворяют требования ВАК Результаты исследований автора опубликованы в 14-ти изданиях, содержащихся в наукометрических базах.

Ценность для науки и практики результатов работы

Теория рассеяния Рэлея-Смолуховского-Эйнштейна, исторически была принята в качестве первого приближения в оптике моря и атмосферы. Поэтому модели для восстановления биооптических характеристик моря, построенные на ее основе, упрощенно описывают реальность и нуждаются в улучшении.. Как показано соискателем, оптические характеристики атмосферы и моря в реальных условиях чувствительны к термодинамическому состоянию среды, а именно к степени ее неравновесности. Соискатель последовательно рассмотрел наиболее важные микрофизические неравновесные процессы, учел их влияние, и предложил соответствующие коррекции оптических моделей атмосферы и верхнего слоя моря. Необходимо отметить, что такой учет потребовал выхода за пределы «классической оптики моря», основанной на равновесной статистике, рассмотрения дефектов структуры воды, введения «оптических квазичастиц», т.е. использования кардинально новых физических представлений для данного предмета. В этом состоит основное научное значение этой диссертации.

Соискателем были даны рекомендации, основанные на понимании анизотропной природы светорассеяния в жидкостях, учтенные при разработке и изготовлении приборов для измерения индикатрисы рассеяния света водой.

Разработанная в диссертации методика измерений спектрально-углового показателя рассеяния света является существенным шагом в решении проблемы эталонов рассеяния. Уточненные значения спектрально-углового показателя рассеяния частиц латекса, суспензий Маалокса и опорной фильтрованной воды будут очень полезны при калибровке различных коммерческих приборов, измеряющих рассеяние света в жидкости.

Замечания по диссертации:

1) Очень важный результат соискателя, такой как модель распространения света в гетерогенной среде (в результате чего ему удалось объяснить высокую отражательную способность океанских вод, соответствующую экспериментальным данным), опубликован в издании с невысоким рейтингом (Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: сб. науч. тр. – Севастополь, 2010. – Вып. 21. – С. 188–196).

2). Вывод на стр. 229: «высокая корреляция АОТ на различных длинах волн обусловлена малой относительной влажностью, т.е. ограничением на отсутствие облачности в момент измерений» является сомнительным, т.к. корреляция АОТ на разных длинах волн должна быть при любой влажности, потому что является следствием теории рассеяния электромагнитных волн на частице.

3) В работе часто встречаются неудачные термины, определения, выражения, например: «диафрагма луча», «эффект дифракции падающего луча», «расходимость луча», «...путь измеряемого излучения..», «...прямоугольная диафрагма луча», «...ошибки измерения интенсивности прямого луча..», «...дифракция по величине на порядок превышает показатель рассеяния природной чистой воды...», «...паразитных лучей различной природы..» и т.д. Требуется пояснение выражение на стр. 52: «Даже если бы рассеивающий объем был бы строго равен нулю, вследствие многократного рассеяния часть фотонов может попасть на фотоприемник.»

4) Встречаются по тексту (но не часто) и опечатки.

Заключительная оценка

Сделанные выше замечания, не являются определяющими и не затрагивают принципиальной основы защищаемых положений.

Диссертационная работа Е.Б. Шибанова является законченной научно-квалификационной работой, в которой выполнены исследования, имеющие важное научное и прикладное значение, связанные с разработкой оптических методов изучения и мониторинга Мирового океана, прибрежных и внутренних морей. По степени новизны и практической значимости полученных результатов она соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 и паспорту специальности 25.00.28 – «Океанология». В

диссертации имеются необходимые ссылки на авторов и источники заимствованных материалов, в том числе – на научные работы соискателя. Автореферат диссертации в достаточной мере отражает ее содержание.

Учитывая изложенное Шибанов Евгений Борисович, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.28 – «Океанология».

Официальный оппонент,

доктор физ.-мат. наук, профессор, заведующий кафедрой
«Оптико-электронных систем и дистанционного зондирования»
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский
государственный университет», Лауреат Государственной премии СССР

И.В. Самохвалов

Игнатий Викторович Самохвалов

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет»,

Адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 36.

Тел.: 8 (3822) 41-39-84, E-mail: lidar@mail.tsu.ru

Докторская диссертация защищена по специальности (01.04.05 – Оптика)

Подпись И.В. Самохвалова заверяю:



ОРИИ

ЕНКО