

УТВЕРЖДАЮ

ВРИО директора Федерального
государственного бюджетного учреждения
науки «Институт океанологии
им. П.П. Ширшова» Российской академии
наук



Шевченко В.П.

« 6 » октября 2023 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
«Институт океанологии им. П.П. Ширшова» РАН
на диссертационную работу

Липинской Надежды Александровны

«Формирование спектральных коэффициентов яркости восходящего излучения моря
в гидродинамических структурах»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.6.17 – Океанология

Актуальность темы работы.

Дистанционное зондирование морской среды активно используется для мониторинга экологического состояния окружающей среды, оперативной океанологии, исследования изменений климата и осуществления хозяйственной деятельности в море. Для этого активно используются мультиспектральные спутниковые данные о цвете океана, которые содержат информацию о разнообразных гидрооптических характеристиках верхнего слоя океана. В таких данных гидродинамические структуры выделяются за счет пространственно-временной неоднородности содержания фитопланктона, окрашенного растворенного органического вещества и взвешенных веществ. Определение изменений характеристик дистанционно измеряемого спектрального цвета моря расширяет возможности изучения гидродинамических явлений и связанных биологических процессов, что важно и актуально в различных областях океанологии.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка условных обозначений и списка литературы из 164 наименований. Объем диссертации – 124 страницы, включая 36 рисунков и 2 таблицы.

Основные результаты, полученные в диссертации.

Во **Введении** обосновывается актуальность темы исследования и дается информация о степени ее разработанности, описываются цели, задачи, объект, предмет и методы исследования. Указывается новизна, научная и практическая значимость результатов работы, перечисляются положения, выносимые на защиту, обосновывается степень достоверности результатов исследований. Приведен список опубликованных работ по теме диссертации. Подробно описывается личный вклад автора.

В **Первой главе** представлен аналитический обзор современного представления о формировании гидродинамических структур в данных дистанционного зондирования. Рассмотрены гидродинамические структуры (апвеллинги, внутренние волны, субмезомасштабные вихри), оказывающие влияние на вертикальную стратификацию вод и пространственно-временное распределение содержания оптически-активных компонентов морской воды. Представлена информация о типах гидродинамических процессов, механизмах их формирования и физических характеристиках.

Вторая глава посвящена основным методам исследования формирования спектров коэффициентов яркости восходящего излучения моря в гидродинамических структурах по *in-situ* и дистанционным данным. Описываются используемые в работе данные, методы и модели. Используемые данные включают судовые гидрологические и гидрооптические измерения, спутниковые данные видимого и ИК диапазонов и данные океанографических реанализов.

В **Третьей главе** приводятся результаты анализа пространственно-временного распределения гидрооптических характеристик в гидродинами-

ческих структурах. Представлен анализ спутниковых и судовых *in-situ* измерений температуры и солености морской воды, концентрации хлорофилла-а и ОРОВ в зоне действия апвеллинга на склоне Патагонского шельфа. Выполнен анализ судовых *in-situ* измерений при прохождении внутренних волн на шельфе около м. Шульца в Японском море и анализ спутниковых данных с проявлениями внутренних волн в оценках концентрации хлорофилла-а в различных районах Японского моря. Представлены результаты исследования пространственно-временной изменчивости гидрооптических характеристик в субмезомасштабных вихрях в южной части залива Петра Великого.

Четвертая глава посвящена исследованию формирования спектральных коэффициентов яркости восходящего излучения моря при влиянии вихрей, апвеллингов и внутренних волн. Представлен метод оценки глубины слоя, в пределах которого изменение глубины положения максимума концентрации хлорофилла-а под действием апвеллинга будет значимо влиять на спектры яркости восходящего излучения моря. Представлены результаты моделирования спектров коэффициентов яркости восходящего излучения моря и рассчитанных из них индексов цвета на различных фазах движения внутренних волн, зарегистрированных в заливе Петра Великого. Приведены результаты определения дистанционно оцениваемых параметров в оптическом спектральном диапазоне, по которым возможно получить наибольшие контрасты для детектирования субмезомасштабных вихрей. Для исследуемого субмезомасштабного вихря дана оценка глубины, при которой наличие соответствующей гидродинамической структуры перестает проявляться в дистанционных спектральных данных по цвету моря. Представлен алгоритм оценки «максимальной глубины проявления гидродинамической структуры» в дистанционных спектральных данных по цвету моря.

В Заключении сформулированы основные результаты работы.

Обоснованность и достоверность результатов.

Достоверность научных результатов диссертации подтверждается согласованностью данных *in-situ* измерений, дистанционных измерений и численного моделирования. Используются современные и общепризнанные приборы для измерения гидрофизических и гидрооптических характеристик, базы спутниковых данных, методы обработки данных и программное обеспечение. Полученные результаты были опубликованы в 6 рецензируемых научных журналах, представлены на 4 Всероссийских и 6 международных конференциях.

Научная новизна исследования и полученных результатов.

Для изучения вертикальной изменчивости содержания оптически-активных компонентов и соответствующих изменений контрастных характеристик спектров коэффициентов яркости восходящего излучения моря под действием апвеллинга и внутренних волн впервые использованы методы прямого численного моделирования распространения света в системе «атмосфера – морская поверхность – морская толща».

Предложено определять контрастные характеристики проявления субмезомасштабного вихря в данных пассивного оптического зондирования на всех длинах волн видимого диапазона по отношению к статистическому шуму дистанционно полученных измерений и выбирать из них оптимальную, благодаря чему значительно увеличивается пространственно-временное покрытие изучаемого явления за счет увеличения количества регистрируемых проявлений.

Впервые введено понятие «максимальная глубина проявления гидродинамической структуры» в дистанционных спектральных данных по цвету моря, дано определение, сформулирован метод её оценки и области использования.

Сильные стороны работы:

1. Для численной характеристики различимости гидродинамических структур предложена процедура расчета показателя отношения контраст/шум по данным дистанционного оптического зондирования. Приведены результаты расчетов этого показателя для различных примеров гидродинамических структур: апвеллингов, внутренних волн и субмезомасштабных вихрей. Следует отметить высокий уровень владения математическими методами обработки данных, в частности, использование фильтра Собеля.
2. Введено понятие «максимальная глубина проявления гидродинамической структуры», которое наглядно позволяет оценить предел их регистрации дистанционными методами в каждом конкретном случае.
3. Расчет амплитуды внутренних волн с использованием схемы, объединяющей применение данных спутниковых сканеров цвета океана, реанализа и результатов решения уравнения Кортевега – де Фриза.

Научная и практическая значимость

Полученные результаты могут быть использованы для определения гидрооптических характеристик, обеспечивающих наилучший контраст для детектирования некоторых типов гидродинамических структур по дистанционным измерениям спектров коэффициентов яркости восходящего излучения моря. Метод определения «максимальной глубины проявления гидродинамической структуры» позволяет улучшить интерпретацию дистанционных спектральных данных о цвете моря и определять толщину поверхностного слоя моря, в котором гидродинамические структуры могут быть детектированы дистанционно в видимом диапазоне спектра. Созданный методический аппарат может быть применен для получения таблиц сравнения спектров коэффициентов яркости восходящего излучения моря и наборов вертикальных

распределений оптически-активных компонентов морской воды при распространении апвеллингов, внутренних волн, вихрей. Это позволит в оперативном режиме получать варианты возможных вертикальных профилей распределений оптически-активных компонентов морской воды из дистанционных измерений.

Вопросы и замечания по диссертации

- (1) Недостаточно конкретно сформулированы задачи и выносимые на защиту положения: отсутствует необходимая информация о районах, экспедициях и периодах времени проведения исследований. Задача 4 должна быть под номером 2. Не определены «значимое влияние» и «значительные вариации» в положениях 1 и 2. Из формулировки положения 1 можно сделать вывод, что разработанный метод не будет работать вне апвеллинга.
- (2) Отсутствует информация о районах и датах проведения экспедиций, а также о районах исследований и периоде времени для использованных спутниковых данных и данных реанализов, а также адаптации моделей (раздел «2.1 Используемые данные»). Не указано точное расположение районов I и II. Это затрудняет понимание результатов работы.
- (3) Из содержания работы неясно почему не рассматривались мезомасштабные вихри.
- (4) В разделе «Влияние гидродинамических структур» (стр. 21) не показано каким образом и за счёт каких механизмов гидродинамические структуры (и какие) влияют на оптические характеристики среды.
- (5) В представленном алгоритме ‘определения «максимальной глубины проявления гидродинамической структуры» в дистанционных спектральных данных по цвету моря’ первый шаг представляет собой получение комплекса данных **судовых** измерений, что может вызвать некоторое недоумение. Здесь было бы уместно подчеркнуть преимущества совместного использования судовых и спутниковых данных.

- (6) Следует обратить внимание на неточность отдельных формулировок.
- Например:
- 6.1. «Одним из самых известных примеров прибрежного апвеллинга является апвеллинг в районе взаимодействия вод Патагонского шельфа и Фолклендского течения» (стр. 39). Этот район не является одним из самых известных примеров прибрежного апвеллинга. В первую очередь, следовало бы упомянуть, например, Канарский, Бенгельский, Калифорнийский и Перуанский апвеллинги, которые являются самыми мощными апвеллингами в Мировом океане. Кроме того, упомянутый апвеллинг некорректно считать прибрежным.
- 6.2. «О проявлении апвеллинга судят по резкому изменению параметров воды в течение суток: температуры, гидрохимическому составу и биологической продуктивности» (стр. 40-41). Это неверно, поскольку в течение суток значения перечисленных характеристик могут оставаться неизменными, а апвеллинг существовать, как, например, постоянно существующие Канарский, Бенгельский, Калифорнийский и Перуанский апвеллинги, да и многие другие, которые могут существовать неделями и месяцами.
- 6.3. «При апвеллинге наблюдается опускание тёплых поверхностных вод на глубину с замещением их более холодными глубинными водами»; «При погружении теплых вод на глубину на поверхность поднимаются богатые биогенными веществами (фосфор и азот) водные массы» (стр. 41). Это неверно. При апвеллинге теплые поверхностные воды не опускаются на глубину (за счет чего?), а смещаются в мористую часть от берега. Биогенные вещества выносятся на поверхность с более холодными подповерхностными водами.
- 6.4. «Соответственно, меняется и солевой состав водной толщи» (стр. 41). Солевой состав не меняется, меняется соленость в соответствии с вертикальным профилем солености.
- (7) Общее впечатление портит небрежность использования терминологии:

- 7.1. Общепринятый термин – «коэффициент яркости моря» (стр. 4).
- 7.2. Очевидно, имеется в виду «высокий балл облачности», а не «высокая облачность» (стр. 6).
- 7.3. Представленная в качестве монографии работа является главой монографии (стр. 12).
- 7.4. Прозрачность воды определяется значениями первичных гидрооптических характеристик, а не наоборот (стр. 17).
- 7.5. Даны неверные определения показателей поглощения, рассеяния и ослабления (стр. 17). Если следовать данному автором определению, то размерность этих величин составит Вт/м, в то время как она составляет 1/м.
- 7.6. Использование термина «вторичные характеристики» представляется неудачным (стр. 19).
- 7.7. Следует использовать термин «шероховатости морской поверхности» вместо «шероховатости морского волнения» (стр. 28).
- 7.8. Отражение поверхностью воды не всегда зеркальное (стр. 35).
- 7.9. Судя по размерам представленного на рис. 7 океанического вихря, это пример мезомасштабного, а не субмезомасштабного вихря.
- 7.10. Термин «территория» следовало бы заменить на «акватория» (стр. 76).
- 7.11. «Приливные волны превращаются во внутренние» – приливная волна не может превращаться во внутреннюю, она может их генерировать.
- 7.12. Фраза «В результате давления Фолклендского течения на склон Патагонского шельфа возникают подъемные силы, приводящие к подъему глубинных вод» (стр. 70) содержит ряд физических ошибок.
- 7.13. «Проведены расчёты максимальной глубины проявления гидродинамической структуры $ZrsH$, которая в случае субмезомас-

штабных вихрей является максимальной глубиной, на которой сохраняется гидродинамическая структура вихря» – величина Z_{rsH} характеризует глубину проявления, а не структуру вихря. Вероятно, имелось в виду что-то другое.

(8)Оформление:

- 8.1. Ряд неточностей в формулах. Используются различные индексы в уравнении (16) и предшествующем ему абзаце. Различное обозначение параметра Кориолиса, в формуле (35) и предшествующем ему абзаце. В формуле (35) указан неверный знак. Можно подумать, что степень в выражениях (36) и (37) относится к глубине z , а не к концентрации хлорофилла. В формуле (46) нет пояснения к переменной N . Пропущены дифференциалы аргументов в записи уравнения Кортевега – де Фриза, там же отсутствует параметр « β », обсуждаемый в тексте ниже.
- 8.2. Выражение (54) для амплитуды внутренней волны ведет к получению размерности m^2/c .
- 8.3. Рисунок 4 неудачен в смысле демонстрации механизма формирования прибрежного апвеллинга. Особенно цветовая гамма и масштаб растительности на берегу, ветра и течений.
- 8.4. Не показана картина самих субмезомасштабных вихрей, характеристики которых представлены в Таблице 1. То же самое относится к рисунку 31.
- 8.5. В ряде случаев не указано время получения спутниковых снимков и названий сенсоров.
- 8.6. Рисунки 3, 4, 5, 18, 19, 23, 25 выполнены на английском языке.
- 8.7. «На рис. 15 представлены данные судовых измерений» – имеется в виду рисунок 16.
- 8.8. Представленная на рис. 27 точность расчета R_2 представляется избыточной.

- 8.9. Отсутствуют пояснения к белым и красным пунктирным линиям, показанным на рисунке 35.
- 8.10. Различное написание слова «флуоресценция».

Отметим, что вышеуказанные неточности не снижают общую положительную оценку диссертационной работы Липинской Н.А., имеющую важное научное и прикладное значение.

Заключение

Диссертация выполнена на высоком научном уровне и представляет собой законченный этап исследований по актуальной теме. Получены новые результаты в области оптики морской среды, существенно улучшающие понимание изменчивости спектральных коэффициентов яркости восходящего излучения моря, обусловленную вариациями горизонтального и/или вертикального распределения оптически-активных компонентов морской воды под влиянием гидродинамических процессов.

В диссертации имеются необходимые ссылки на авторов и источники заимствованных материалов, в том числе – на научные работы соискателя.

Работа хорошо апробирована. Основные результаты, представленные в диссертации, опубликованы в рецензируемых научных изданиях, удовлетворяющих требованиям ВАК Российской Федерации. Всего по теме диссертации опубликовано 16 научных работ, из них 6 статей – в журналах, удовлетворяющих требованиям ВАК. Автореферат диссертации полностью отражает ее основное содержание и удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842.

Диссертация полностью соответствует специальности 1.6.17 – «Океанология» и удовлетворяет всем требованиям действующего «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссерта-

циям, а ее автор, Липинская Надежда Александровна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден и утвержден на заседании Ученого совета Физического направления Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, протокол № 25 от 6 октября 2023 г.

Главный научный сотрудник Лаборатории экспериментальной физики океана
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
доктор физико-математических наук (специальность 25.00.28 – Океанология), профессор

117997, Москва, Нахимовский пр-т, д. 36

Телефон: +7-916-654-1721

E-mail: kostianou@ocean.ru

Костяной Андрей Геннадьевич

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН)

117997, г. Москва, Нахимовский проспект, 36,

Телефон: 8-499-124-59-96, office@ocean.ru

Веб-сайт: <http://ocean.ru/>

Подпись сотрудника Костяного Андрея Геннадьевича заверяю.

Заместитель Ученого секретаря Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук

кандидат философских наук

« 6 » октября 2023 г.



Артемьева Мария Александровна