# Титул

Спасибо за представление.

Как следует из названия доклада, диссертационная работа связана с оптическими методам исследования Океана.

# Введение

Оптические методы являются наиболее развитыми и широко используемыми в оперативной практике.

В настоящее время на орбите Земли находится большое количество сканеров, работающих в оптическом диапазоне (например, сканеры MODIS на спутниках Terra и Aqua).

Одно из основных применений данных оптических сканеров, - изучение «цвета» Океана (содержание фитопланктона и минеральной взвеси, биогеохимические характеристики), а также температуры его поверхности.

# Маска блика

При изучении оптических характеристик Океана, солнечная радиация, отраженная от морской поверхности, является шумом по отношению к радиации, рассеянной в верхнем слое Океана.

В областях солнечного блика отражённая радиация составляет значительную часть регистрируемого излучения, что исключает возможность применения алгоритмов восстановления «цвета» Океана.

Существование солнечного блика приводит к тому, что огромная часть спутниковых сканерных данных (до 30%) не может быть использована в классических океанографических приложениях.

Области, где восстановление параметров цвета Океана по спутниковым данным невозможно, маскируются для конечного пользователя и, таким образом, «выбрасываются в мусорный ящик».

Для наглядности какое количество информации “выкидывается” приводится пример маскировки областей поверхности океана, «засвеченных» солнечным бликом в данных сканера MODIS.

# Актуальность

Основная идея работы состоит в том, что отраженная солнечная радиация несёт информацию о характеристиках «шероховатости» поверхности Океана.

В этом случае данные оптических сканеров могут быть использованы для исследования статистических характеристик ветрового волнения и их вариаций, вызванных различными океаническими процессами.

Актуальность данного исследования также определяется необходимостью разработки нового метода, позволяющего использовать отбрасываемые ранее данные оптических сканеров для исследования проявления различных динамических процессов на поверхности Океана.

Предлагаемый подход, совместно с существующими радиолокационными (РЛ) методами наблюдения поверхности Океана, открывает новые возможности для мониторинга океанических явлений из Космоса по их поверхностным проявлениям.

# Цель

Цель исследования разбита на 2 этапа

В первую очередь необходимо создать метод исследования поверхности Океана по спутниковым изображениям солнечного блика

И во вторую – применить этот метод для исследования нефтяных загрязнений и поверхностных проявлений динамических процессов в Океане

# Задачи

Чтобы достичь поставленной цели решались следующие задачи:

* разработать метод восстановления пространственных вариаций среднеквадратичного наклона (СКН) морской поверхности по полю яркости солнечного блика;
* применить разработанный метод для анализа данных спутниковых оптических сканеров MODIS и MERIS;
* исследовать поверхностные проявления биологических и нефтяных сликов в солнечном блике и в поле СКН морской поверхности, а также исследовать подобие и отличия аномалий «шероховатости» морской поверхности в сликах, измеряемых оптическими и радиолокационными методами;
* исследовать особенности проявления внутренних волн и мезомасштабных течений на морской поверхности по изображениям солнечного блика;
* исследовать связь аномалий характристик «шероховатости» морской поверхности с параметрами мезомасштабных течений на основе синергетического анализа оптических и радиолокационных изображений;
* создать специализированное программно-математическое обеспечение, сопровождающее разработанные методы.

# Содержание

**1.** В **первой главе** описывается метод восстановления пространственных вариаций среднеквадратичного наклона (СКН) морской поверхности по солнечному блику, регистрируемому оптическими сканерами из космоса. Рассматриваются основные технические особенности приборов MODIS и MERIS. Разработанный метод применяется к анализу данных спутниковых оптических спектрометров MODIS и MERIS. Описываются разработанный алгоритм и программное обеспечение для восстановления СКН.

Обосновывается 1 положение, выносимое на защиту

**2.** Во **второй главе** метод, описанный в первой главе, применяется для исследования морской поверхности, покрытой нефтяными плёнками естественного и техногенного происхождения.

В качестве объекта исследования выбраны естественные нефтяные образования – грифоны и нефтяной разлив в результате взрыва на нефтяной платформе Дипвотор Хорайзон в Мексиканском заливе. Приводится совместный анализ полученных результатов с данными радиолокаторов с синтезированием апертуры (РСА), и раскрываются преимущества синергетического подхода в исследовании поверхностных сликов.

Обосновываются 2 и 3 положения, выносимое на защиту

**3.** В **третьей главе** рассматриваются примеры исследования суб- и мезомасштабной динамики Океана по оптическим и радиолокационным изображениям.

Обосновываются 4 и 5 положения, выносимое на защиту

# Блик в Севастополе

Как я уже отмечал, основные океанографические приложения оптических спутниковых данных связаны с изучением цвета Океана.

С одной стороны, отражённый от морской поверхности солнечный свет составляет основной вклад восходящей радиации и создаёт значительные трудности для разработчиков алгоритмов восстановления цвета Океана.

Однако, в солнечном блике содержится ценная информация о статистических характеристиках шероховатости морской поверхности

Если мы представим невозмущённую морскую поверхность, то олнечный блик в середине дня будет представлять собой симметричное яркое пятно.

Но ветер, течения, слики и проходящие суда сформировали на морской поверхности множество уклонов, благодаря которым мы наблюдаем сложную картину зеркальных отражений – множество солнечных зайчиков, которые, сливаясь воедино, формируют сложную и красивую картину

# Блик на снимках MODIS

На спутниковых изображениях солнечный блик проявляется как яркая полоса близкая к линии зеркального отражения.

Здесь представлены псевдо-цветные композиты данных прибора MODIS

При увеличении скорости ветра блик становится более тусклым, при этм охватывает больший диапазон направлений, что, конечно , связано с изменением среднеквадратичного наклона морской поверхности

# Данные

Для исследования солнечного блика наиболее предпочтителен красный канал, поскольку свет в красном канале поглощается в «тонком» поверхностном слое океана (Jerlov, 1976), и, таким образом, не так чувствителен к «цвету» водного столба и поверхностной температуре.

# Классическая задача рассеяния

Классическая задача рассеяния была подробно описана ещё в 1954 г. Коксом и Манком.

Подгоняя модель с ПРВ, заданной в виде рядов Грамма-Шарлье, к измеряемой яркости блика Кокс и Манк получили фундаментальные статистические характеристики наклонов морской поверхности

# Предлагаемый метод восстановления СКН

В диссертационном исследовании предлагается метод восстановления пространственных вариаций среднеквадратичного наклона морской поверхности по полю яркости солнечного блика на внутренних масштабах блика, с использованием передаточной функции, которая напрямую зависит от наблюдаемых градиентов яркости солнечного блика, без априорного задания плотности распределения уклонов морской поверхности

Для получения вариаций СКН выполняются следующие шаги:

Сначала исходное поле яркости представляется в виде суперпозиции среднего (*масштаб солнечного блика*) и его вариаций *(внутренний масштаб)*

Далее Полученные контрасты яркости преобразуются в контрасты СКН с использованием передаточной функции.

Поскольку количество отражённой радиации в районе солнечного блика зависит от СКН, любое явление, наблюдаемое на поверхности океана и приводящее к вариациям СКН, возможно наблюдать в контрастах яркости

# Особенности формирования

Разработанный метод позволяет работать с различными оптическими спектрометрами именно благодаря использованию передаточной функции

Далее рассмотрим конструктивные особенности приборов MERIS и MODI S, приводящие к различному формированию изображений этими приборами

Так изображение MODIS формируется за счёт сканирующей камеры, что приводит к образованию “полосообразной” структуры изображения в области солнечного

блика с явно выраженными двумерными градиентами яркости вдоль и поперек траектории полета спутника

В случае с изображением прибора MERIS ситуация кардинально отличается. Изображение формируется 5-ю одинаковыми неподвижно зафиксированными оптическими камерами, что приводит к формированию изображения с градиентами яркости лишь в одном направлении

# Метод

Разработанный метод диагностики пространственных аномалий «шероховатости» поверхности Океана по спутниковым изображениям солнечного блика позволяет работать с различными оптическими спектрометрами благодаря использованию передаточной функции, которая напрямую зависит от наблюдаемых градиентов яркости солнечного блика, без априорного задания плотности распределения уклонов;

# Примеры работы алгоритма

# Процедура восстановления СКН

# Естественные нефтяные загрязнения

Разработанный метод восстановления контрастов СКН применен к анализу поверхностных проявлений разливов нефти природного происхождения (так называемые «грифоны») в Мексиканском заливе.

# Естественные слики

На рисунке хорошо видно, что вариации яркости блика, связанные с присутствием нефтяных сликов, бывают как положительными, так и отрицательными. Действительно, контрасты яркости грифонов по разные стороны зоны инверсии контрастов имеют разный знак.

Это явление называется инверсией контрастов в солнечном блике.

А связано оно с тем, что передаточная функция 𝑇 меняет знак в этом районе.

# Контрасты СКН сликов

На слайде представлена зависимость контрастов СКН от скорости ветра по серии выбранных нефтяных сликов.

В результате анализа сделан вывод, что контрасты СКН в нефтяных сликах систематически ниже контрастов СКН в биологических сликах

# Deepwater Horizon

Далее приводится рассмотрим катастрофический разлив нефти в результате взрыва на нефтяной платформе Дипвотер Хорайзон (англ. Deepwater Horizon) в Мексиканском заливе.

Выбор пал именно на этот случай, не столько потому, что он потряс весь мир, а больше потому, что было собрано множество изображений с разных приборов и спутников, а также большое количество сопутствующей вспомогательной информации

# RGB Deepwater Horizon

На данном слайде приведены псевдо цветные RGB композиты увеличенной области изображений MERIS и MODIS района разлива нефтепродуктов в результате взрыва нефтяной платформы «Deepwater Horizon» в Мексиканском заливе 24 Мая 2010г.

Обращаю Ваше внимание на явные различия между изображениями, несмотря на разницу всего в пол часа.  
Прежде всего это объясняется отличающейся геометрией наблюдений.

Далее рассмотрим этот случай подробнее

# Применение алгоритма

# Контрасты СКН

Если предположить, что толщина нефтяной плёнки в этом районе значительно больше длины волны красного света (640-680нм), т.е. толщина порядка 1 микрона и более, то в этом случае, оптические свойства самой нефти могут доминировать над изменениями яркости морской поверхности в зоне, покрытой этой нефтью.

Предложенный алгоритм не учитывает возможность изменения “цвета” поверхности, поэтому смена знака и изменение амплитуды восстановленных контрастов некорректны и не несут физического смысла.

# Синергетика с ASAR

Рассмотрим синергетический случай совместной съёмки нефтяного разлива 26 Апреля 2010г. приборами MERIS (15:58 GMT) и ENVISAT ASAR (15:56 GMT). Поскольку приборы установлены на одном спутнике съёмка производилась квазисинхронно.

Из приведённых изображений видно, что оптические и РЛ-контрасты одного и того же слика, сформированного тонкой нефтяной плёнкой, хорошо коррелируют друг с другом. При этом радиолокационные контрасты примерно в 1.6 раза сильнее контрастов СКН.

Для интерпретации наблюдаемых контрастов удельной эффективной площади рассеяния (УЭПР ) и СКН в сликах использовалась модель спектров коротких волн, предложенная в работах [Kudryavtsev и др., 2005; Yurovskaya и др., 2013]. Получено, что модельные контрасты согласуются с наблюдениями в том случае, если эффективный коэффициент упругости равен E=15мН/м.,

# Профиль вариаций СКН

С использованием модели формирования радиолокационных изображений RIM показано, что поверхностные проявления ВВ хорошо видны в модуляциях уклонов морской поверхности в связи с усилением среднеквадратичного наклона (СКН) в зонах конвергенции течения ВВ, в то время как подавление наблюдается в зонах дивергенции.

**В рамках исследования ставился вопрос о природе проявления РСА контрастов.**

Очевидна связь РСА контрастов с особенностями мезо-масштабной изменчивости

Связаны ли эти РСА контрасты с течениями и какие их особенности они отображают?

Для выяснения закономерности формирования поверхностных проявлений динамики Океана, необходимо иметь информацию о мезомасштабных особенностях полей течений.

Поле течений представляется в виде суммы:

Для восстановления мезомасштабной изменчивости поля скорости геострофического течения (ГТ) используется модель, предложенная [Isern-Fontanet и др., 2008]. В рамках этой модели функция тока ГТ и поле ТПО в пространстве Фурье связаны следующим соотношением:

На данном слайде приведено поле завихренности ГТ, восстановленное по полю ТПО.

Однако, поле ГТ является бездивергентным. Как показано в [Kudryavtsev и др., 2005], влияние такого типа течений на интегральные параметры спектра ветровых волн (СКН, обрушения ветровых волн) является слабым, т.е. проявления ГТ на поверхности океана должны быть «невидимы». Поэтому, наблюдаемые на изображении поверхностные проявления океанических явлений, скорее всего, связаны с другими факторами

Взаимодействие ветрового дрейфа с полем скорости ГТ может приводит к генерации достаточно сильной вторичной агеострофической циркуляции [Garrett, Loder, 1981]. Следуя модели [Klein, Hua, 1990] дивергенция агеострофической компоненты течения, генерируемого при взаимодействии Экмановского течения с ГТ, имеет вид

На слайде представлена дивергенция поверхностных течений, рассчитанная по полю завихренности и Экмановскому дрейфу, соответствующему полю ветра. Видно, что зоны дивергенции/конвергенции привязаны к зонам градиентов завихренности КГТ, и соответственно – к зонам резких перепадов ТПО

Далее приводится сопоставление фрагментов РСА контрастов с полем дивергенции, где отчётливо наблюдается корреляция между контрастами РСА и полем дивергенции

В результате анализа можно заключить, что дивергенция мезомасштабных течений определяет их проявления на РСА изображениях

# Основные результаты

# Положения

На защиту выносятся следующие положения:

1. разработанный метод диагностики пространственных аномалий «шероховатости» поверхности Океана по спутниковым изображениям солнечного блика позволяет работать с различными оптическими спектрометрами благодаря использованию передаточной функции, которая напрямую зависит от наблюдаемых градиентов яркости солнечного блика, без априорного задания плотности распределения уклонов;
2. контрасты СКН в нефтяных сликах ситематически ниже контрастов СКН в сликах биологического происхождения;
3. для одного и того же слика, сформированного тонкой нефтяной плёнкой, контрасты УЭПР примерно в 1.6 раза сильнее контрастов СКН;
4. поверхностные проявления ВВ и мезомасштабных течений отчётливо проявляются в модуляциях уклонов морской поверхности в результате усиления среднеквадратичного наклона (СКН) в зонах конвергенции течения, и его подавления в зонах дивергенции;
5. аномалии характеристик ветрового волнения (СКН, обрушения) связаны с зонами дивергенции течений и пространственно привязаны к областям сильных градиентов завихренности полей квази-геострофических течений

# Публикации

С опубликованными работами можно ознакомится

**Благодарности**

Уважаемый председатель и уважаемые члены диссертационного совета! Разрешите выразить свою благодарность за интерес и внимание к моей работе, конструктивные предложения и замечания, положительную оценку работы.

Хотелось бы поблагодарить ведущую организацию, оппонентов, авторов отзывов за проявленный интерес к работе. Постараюсь в дальнейшей научной работе учесть все высказанные вами замечания и пожелания.

Особую благодарность хочу выразить научному руководителю Кудрявцеву В.Н, за профессиональную помощь, которая была оказана мне при проведении данного диссертационного исследования

Очень признателен всем, к кому приходилось обращаться за советом и помощью, а также присутствующим за проявленный интерес и моральную поддержку.

И конечно членам моей семьи. Спасибо вам.