

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

Атаджанова Оксана Алишеровна

ИССЛЕДОВАНИЕ СУБМЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ БЕЛОГО,  
БАРЕНЦЕВА И КАРСКОГО МОРЕЙ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ  
НАБЛЮДЕНИЙ

Специальность – Океанология 25.00.28

Текст научного доклада

Научный руководитель:  
доктор географических наук, доцент  
Зимин Алексей Вадимович

Санкт-Петербург

2018

1 слайд: Здравствуйте! Я бы хотела вам представить доклад по результатам научно-квалификационной работы тему «ИССЛЕДОВАНИЕ СУБМЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ БЕЛОГО, БАРЕНЦЕВА И КАРСКОГО МОРЕЙ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ»

2 слайд: Все процессы в океане делятся по своим временным и пространственным масштабам. Общая классификация включает в себя крупномасштабные, мезомасштабные и мелкомасштабные процессы. Переходным звеном между мезомасштабными и мелкомасштабными процессами служат процессы субмезомасштаба.

Такие процессы имеют пространственный масштаб от сотен метров до десятка километров (порядка радиуса Россби) и время жизни от часов до суток, характеризуются значительной вертикальной скоростью, а также являются агеострофическими, существенно нестационарными, а также играют важную роль в перераспределении тепла и биогенов.

Ввиду малого пространственного масштаба и времени жизни исследования субмезомасштабных процессов на больших акваториях стали возможны только при появлении высокоразрешающих спутниковых данных.

3 слайд: Проявления субмезомасштабных вихревых структур на морской поверхности прослеживаются по данным разных спутниковых сенсоров в виде закрученных в спирали полос, либо в виде пятен с повышенными или пониженными значениями характеристик относительно фона. Например, в радиолокационных данных, а также в данных инфракрасного и видимого диапазона, представленных на слайде.

В настоящее время субмезомасштабные вихри активно изучаются в различных районах Мирового океана и на слайде приведен ряд ссылок.

4 слайд: Уже доказано, что вихревые структуры, находящие свое отражение в поле скорости, также проявляются и в спутниковых радиолокационных данных. При этом радиолокационным изображениям по типу закрутки выделяют 2 типа вихрей.

5 слайд: Субмезомасштабные вихревые структуры лучше всего изучать с помощью высокоразрешающих спутниковых радиолокационных изображений. Так как они не зависят от наличия облачности и времени суток, что важно для арктического региона.

Под РЛИ понимается двумерное распределение электромагнитной энергии, рассеянной поверхностью океана в направлении приемной антенны радиолокатора, другими словами это называется удельная эффективная площадь рассеяния. Например, на слайде представлены некоторые характеристики радиолокатора с синтезированной апертурой Envisat ASAR, работающего в 5ти сантиметровом диапазоне.

Радиолокатор посылает сигнал с длиной волны 5 см к поверхности, сигнал рассеивается и при наличии сантиметровых волн частично возвращается назад. В случае гладкой поверхности, радиолокатор видит только черную поверхность.

Существует несколько механизмов проявления вихрей на радиолокационных изображениях. Самый распространенный это пленочный механизм. Проявления на основе этого механизма и будут рассматриваться в работе.

6 слайд: Комплексные исследования проявлений субмезомасштабных вихрей на основе архивов радиолокационных изображений за несколько лет проводилось, например, для представленных морей (на слайде), где точки положения вихрей. Благодаря этим исследованиям удалось выявить, как проявляются субмезомасштабные вихри на радиолокационных изображениях, какой пространственный масштаб они имеют и где расположенные районы частой встречаемости, где усилен турбулентный обмен и значительные вертикальные скорости.

7 слайд: Актуальность данной работы заключается в том, что подобных широкомасштабных комплексных исследований для Арктических морей не проводилось. Хотя это важно для понимания механизмов перераспределения тепла и биогеохимических параметров на локальных акваториях в условиях

современного климата, из чего и следует фундаментальная проблема, представленная на слайде.

8 слайд: Изучаемым регионом являются Баренцево, Карское и Белое моря. К особенностям этих морей можно отнести: малый бароклинный радиус деформации Россби (оценки представлены на слайде); наличие ледяного покрова; прижатого к поверхности сезонного пикноклина; сочетание областей с ярко выраженной и слабовыраженной стратификацией, что приводит к формированию фронтальных зон.

9 слайд: Цель работы – установить закономерности пространственно-временной субмезомасштабной вихревой активности на фоне процессов большего масштаба в Баренцевом, Карском и Белом морях. Для достижения поставленной цели решался ряд задач. Проводилась оценка встречаемости вихрей, выявлялись особенности их пространственно-временной изменчивости и их связь с процессами большего масштаба.

10 слайд: В ходе решения задач сформулированы 3 научных положения, на каждом из которых подробнее я остановлюсь в ходе доклада.

1. Поверхностные проявления субмезомасштабных вихревых структур с размерами преимущественно от 2 до 4 км (до 55%) в теплый сезон постоянно присутствуют на акватории Баренцева, Карского и Белого морей, имеют в основном циклонический тип закрутки (~85%), а средние оценки диаметра антициклонических вихрей больше циклонических на 20% .

2. Субмезомасштабная вихревая активность в Баренцевом, Карском и Белом морях наиболее интенсивна (~60% вихрей) в период формирования приповерхностного пикноклина (в начале теплого сезона).

3. Районы частой встречаемости субмезомасштабных вихрей в Баренцевом, Карском и Белом морях связаны с областями динамики фронтов (где отмечается до 50% структур) и неровностями дна (где вихри присутствуют в течение всего теплого сезона, а их количество связано с приливными процессами).

11 слайд: В качестве исходных данных использовалось свыше 3 тысяч РЛИ, покрывающих Баренцево и Карское моря, за теплый период 2007 и 2011. А также данные по температуре поверхности моря продукта OSTIA.

12 слайд: Для Белого моря использовалось свыше 200 радиолокационных изображений, а также среднедекадные положения фронтов. Кроме этого использовались некоторые данные для подспутникового эксперимента, о которых я расскажу в ходе работы.

13 слайд: На РЛИ визуально детектировались поверхностные проявления субмезомасштабных вихревых структур, регистрировались координаты центров, диаметр и тип закрутки.

По данным ТПМ рассчитывались поля градиента температуры, пример представлен на слайде, и детектировались среднедекадные и среднемесячные положения основных фронтов, а также ширина фронтальных зон на основании меридиональных разрезов, один из которых представлен на слайде. Для количественной оценки связи вихрей с фронтальными зонами строились композитные карты, сочетающие в себе положение вихрей за месяц, область изменчивости среднедекадных фронтов.

14 слайд: Выполненное нами сопоставление близких по времени полей ТПМ и РЛИ показало, что вихри, проявляющиеся в РЛИ, находят свое отражение в поле ТПМ, в виде теплых или холодных пятен, при этом не прослеживается тесной связи с типом закрутки видимого на РЛИ. Это подтверждает агеострофичный характер вихрей. Эта особенность вихрей делает их весьма сложным объектом для моделирования.

15 слайд: Также был проведён подспутниковый эксперимент, цель которого заключалась в оценке характеристик проявлений вихрей на основе близких по времени спутниковых и контактных данных температуры и концентрации хлорофилла. Район работ в Онежском заливе был выбран в результате анализа РЛИ, где вихри часто отмечались в районе фронтальной зоны. Результаты показали, что вихревая структура по in-situ данным прослеживалась до глубины пикноклина, где имела наилучшее проявление, и

во всем верхнем слое характеризовалась пониженными значениями температуры и концентрации хлорофилла. Однако по спутниковым данным вихрь нашёл свое проявление только в поле тпм и не нашел в поле концентрации из-за мутности вод.

Два проведенных сопоставления подтверждают, что исследуемые вихри по РЛИ это не просто пленки на поверхности, а структуры, прослеживающиеся в верхнем слое.

16 слайд: 1. Поверхностные проявления субмезомасштабных вихревых структур с размерами преимущественно от 2 до 4 км (до 55%) в теплый сезон постоянно присутствуют на акватории Баренцева, Карского и Белого морей, имеют в основном циклонический тип закрутки (~85%), а средние оценки диаметра антициклонических вихрей больше циклонических на 20% .

17 слайд: За теплый период 2007 и 2011 гг. на акватории Баренцева и Карского морей было зарегистрировано почти 4,5 тысячи проявлений субмезомасштабных структур. В Белом море за исследуемый период было зарегистрировано 162 проявления. При этом впервые показано, что во всех трех морях вихревые структуры регистрируются на всей акватории преимущественно с циклоническим типом закрутки. Считается, что такое неравенство связано с наличием фоновой циклонической завихренности течений.

Однако в каждом море выделяются районы частой встречаемости. В Белом море наибольшая встречаемость отмечалась севернее Соловецких островов, вблизи Терского берега и в Двинском заливе. В исследованиях Зимина с соавторами для этих районов было показано по контактными данным, что районы частой встречаемости вихрей характеризуются усиленным вертикальным и горизонтальным турбулентным обменом.

18 слайд: Для Баренцева и Карского морей районы частой встречаемости представлены на слайде, где также могут наблюдаться значительные вертикальные скорости, и будет усилен вертикальный обмен. Наибольшая встречаемость вихрей в Баренцевом море севернее Кольского

полуострова, в Карском море – между северной оконечностью Новой Земли и п-ов Ямал.

19 слайд: В Баренцевом море в среднем отмечалась тенденция к уменьшению диаметра с юга-запада на северо-восток моря. В Карском море встречались вихри преимущественно небольшие вихри до 6 км, а в Белом море четкой тенденции по диаметрам вихрей на акватории не прослеживалось. Средние диаметры антициклонических вихрей во всех трех морях преобладали над диаметрами циклонических. Считается, как это было исследовано в других морях, что антициклонические вихри в среднем живут дольше и успевают дойти до больших размеров.

20 слайд: Во всех трех морях как минимум от 70 до 95 % зарегистрированных проявлений имели масштаб бароклинного радиуса Россби. При этом чаще всего встречались вихри размером от 2 до 4 км. Выполнение критерия бароклинной неустойчивости для выявленных вихрей с диаметром порядка радиуса Россби является основанием для утверждения, что бароклинная неустойчивость – одна из основных причин формирования данных вихрей

21 слайд: 2. Субмезомасштабная вихревая активность в Баренцевом, Карском и Белом морях наиболее интенсивна (~60% вихрей) в период формирования приповерхностного пикноклина (в начале теплого сезона).

22 слайд: В Баренцевом, Карском и Белом морях наибольшая вихревая активность отмечалась в первой половине сезона, когда пикноклин был близок к поверхности. При этом в Баренцевом и Белом морях наибольшее число вихрей отмечалось в июле, а в Карском море в августе. Тенденция в преобладании количества циклонических вихрей характерна и для каждого месяца во всех морях

23 слайд: При вариации размеров вихрей от 0.2 до 25 км во всех трех морях среднемесячные диаметры менялись в пределах единиц километров. Тенденция в преобладании размеров антициклонических вихрей характерна в целом и для каждого месяца.

24 слайд: На слайде приведены данные характеристик по месяцам за каждый год, иллюстрирующие ранее описанные закономерности для Баренцева и Карского морей.

25 слайд: 3. Районы частой встречаемости субмезомасштабных вихрей в Баренцевом, Карском и Белом морях связаны с областями динамики фронтов (где отмечается до 50% структур) и неровностями дна (где вихри присутствуют в течение всего теплого сезона, а их количество связано с приливными процессами).

26 слайд: Районами бароклинной неустойчивости чаще всего считают районы фронтальных зон, внутри может наблюдаться значительное число фронтальных разделов. Для выявления связи между положениями вихрей и районами фронтальных зон, производилось сопоставление положений вихрей с областями высоких градиентов температуры, ассоциируемых с фронтальными зонами. Результаты показали, что большая часть вихревых структур отмечается внутри и вблизи фронтальных зон различного генезиса. Что привело к необходимости исследования фронтальных зон, районы которых характеризуются бароклинной неустойчивостью.

27 слайд: На слайде представлена динамика среднемесячных положений фронтов, зарегистрированных внутри основных ФЗ. В Баренцевом море выделялись положения фронтов Прикромочной фронтальной зоны, образующийся за счет таяния льда, и фронтов Полярной фронтальной зоны, формирующийся за счет затока атлантических вод на акваторию моря. В Карском море также выделялись фронты Прикромочной ФЗ и Стоковой фронтальной зоны, формирующийся за счет распространения на акватории модифицированных речным стоком вод. При этом средняя ширина ФЗ составила около 100 км.

Значительная внутрисезонная фронтальная динамика показывает, что для выявления связи с вихрями необходимо использовать среднедекадные положения фронтов, полученных впервые в данной работе, и которые будут рассмотрены далее.

28 слайд: На данном слайде представлены композитные карты для Баренцева моря, по которым анализировалась внутримесячная динамика фронтов в каждом море и производилась оценки количества вихрей внутри областей изменчивости. В верхнем левом углу каждой карты представлено количество вихрей внутри областей за каждый месяц.

Анализ карт показал, что максимальное количество вихрей внутри областей изменчивости фронтов отмечалось в июле в оба года. При этом именно в этом месяце отмечалась наибольшая изменчивость фронтов.

29 слайд: Для Карского моря анализировались аналогичные карты, которые представлены на слайде за каждый месяц.

Максимальное количество вихрей внутри областей отмечалось также в июле во все года.

30 слайд: Анализ композитных карт для Белого моря для 2010 года также показал, что наибольшее количество вихрей внутри области изменчивости наблюдалось в июле. Стоит отметить, что во всех трех морях в июле отмечалась максимальная фронтальная динамика, которая способствует развитию процессов, связанных с бароклиной неустойчивостью

31 слайд: Кроме того, вихри могут генерироваться под влиянием топографических эффектов. Для Белого моря ранее в некоторых исследования по in-situ данным было показано, что вихри над неровностями дна образуются под влиянием прилива. По спутниковым данным такие районы находятся севернее Соловецких островов и около Терского берега.

32 слайд: Как видно по приведенным картам, сочетающих топографию дна и положения вихрей за каждый месяц, в Баренцевом море вихри часто отмечались в районах неровностей дна на протяжении теплого сезона и преимущественно в северной части. О положении наибольших неровностей дна можно судить по карте градиентов глубин, представленной справа на слайде. Для оценки связи с приливной динамикой для примера рассмотрим район юго-восточнее ЗФИ.

33 слайд: Всего было зарегистрировано 171 вихрь за период с июля по октябрь 2007 года с характеристиками, близкими к средним по всей акватории. При этом свыше 50 % структур отмечалось именно в сизигию, когда приливные течения являются максимальными.

34 слайд: В Карском море неровности дна отмечались, как видно по карте градиента глубин в центральной и северной частях моря, где вихри регистрировались, когда эти районы были свободны ото льда. Карты положения вихрей по месяцам на карте глубин представлены на слайде. Для оценки связи с приливной динамикой для примера рассмотрим район северо-восточнее острова Уединения

35 слайд: По аналогии с Баренцевым море в данном районе зарегистрированы вихри с характеристиками, близкими к средним по всей акватории. При этом большая часть из них в сизигию. Что для всех трех морей подтверждает связь формирования субмезомасштабных вихрей над неровностями дна с приливной динамикой.

36 слайд: Основные результаты работы представлены на слайде. Были выявлены пространственные масштабы субмезомасштабных вихрей, получены периоды и районы наибольшей встречаемости.

37 слайд: Впервые показано, что субмезомасштабные вихри – распространенное явление на акватории Баренцева, Карского и Белого морей, и выявлены физико-географические закономерности пространственно-временной изменчивости проявлений субмезомасштабных вихревых структур для акватории Баренцева, Карского и Белого морей

38 слайд: Основные результаты работы были апробированы на 17 конференциях, а также использованы в отчетах по темам и грантам.

39 слайд: По теме диссертации было опубликовано 8 статей в журналах, рекомендованных ВАК.

40 слайд: Спасибо за внимание!

Список статей по теме в журналах из перечня ВАК:

1. **Атаджанова О.А.**, Зимин А.В., Романенков Д.А., Козлов И.Е. Наблюдение малых вихрей в Белом, Баренцевом и Карском морях по данным спутниковых радиолокационных измерений // Морской гидрофизический журнал. 2017. №2. С.80-90.
2. **Атаджанова О.А.**, Зимин А.В. Малые вихри в Онежском заливе Белого моря и их влияние на распределение хлорофилла // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 6. С. 110-118.
3. **Атаджанова О.А.**, Зимин А.В., Свергун Е.И., Коник А.А. Субмезомасштабные вихревые структуры и фронтальная динамика в Баренцевом море // Морской гидрофизический журнал. 2018. №3. (*в печати*).
4. Зимин А.В., **Атаджанова О.А.**, Романенков Д.А., Козлов И.Е., Шапрон Б. Субмезомасштабные вихри в Белом море по данным спутниковых радиолокационных измерений // Исслед. Земли из космоса. 2016. № 1-2. С. 129-135.
5. Зимин А.В., Коник А.А., **Атаджанова О.А.** Количественные оценки изменчивости характеристик температуры поверхности моря в районе фронтальных зон Баренцева моря // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2018. № 51. (*в печати*)
6. Свергун Е.И., Зимин А.В., **Атаджанова О.А.**, Коник А.А., Зубкова Е.В., Козлов И.Е. Изменчивость фронтальных разделов и короткопериодные внутренние волны в Баренцевом и Карском морях по данным спутниковых наблюдений за теплый период 2007 года // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. (*в печати*)
7. Зимин А.В., Романенков Д.А., **Атаджанова О.А.**, Родионов А.А., Моисеев А.В. Опыт разработки системы мониторинга

короткопериодных процессов и субмезомасштабных структур в Белом море и результаты ее апробации летом 2014 г. // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2015. № 41. С. 116-125.

8. Романенков Д.А., Зимин А.В., Родионов А.А., **Атаджанова О.А.**, Козлов И.Е. Изменчивость фронтальных разделов и особенности мезомасштабной динамики вод Белого моря // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2016. Т. 9. № 1. С. 59–72.