

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Зимина Алексея Вадимовича «ЗАКОНОМЕРНОСТИ СУБМЕЗОМАСШТАБНЫХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ В БЕЛОМ МОРЕ» на соискание ученой степени доктора географических наук по специальности 25.00.28 – океанология

Работа Зимина А.В. посвящена исследованию пространственно-временных закономерностей субмезомасштабной изменчивости процессов и явлений в Белом море в зависимости от фоновых гидрометеорологических условий, приливной и фронтальной динамики. Белое море представляет собой уникальный природный объект на акватории и побережье, которого сосредоточено большое количество ценных и разнообразных природных ресурсов, например, здесь добываются алмазы, вылавливаются и разводятся ценные виды рыб. В связи с интенсификацией освоения Россией Арктического региона оно активно вовлекается в сферу промышленного использования в связи, с чем остро встают проблемы сохранения и рационального использования морской среды. Белое море имеет достаточно расчлененную акваторию, вследствие чего воздействие внешних факторов среды приводит к быстрым и ощутимым изменениям гидрологических процессов на локальных акваториях. Она выражается в образовании короткопериодных внутренних волн, малых вихревых и струйных структур, локальной динамике фронтальных разделов, т.е. субмезомасштабных процессов и связанных с ними явлений. Они появляются спонтанно, обладают малыми пространственными масштабами, не большим временем жизни. Информация, получаемая в настоящее время традиционными методами, не может адекватно их отражать и сведения о них практически отсутствуют. Поэтому исследования, направленные на создание системы взглядов на пространственно-временные особенности субмезомасштабных процессов в Белом море в условиях современного меняющегося климата, являются **актуальными**.

Научная новизна исследования определяется тем, что в ней впервые для Белого моря на основе данных специализированных наблюдений, полученных по оригинальной методике, их анализа и обобщения, определены пространственные особенности распределения характеристик короткопериодных внутренних волн на акватории Белого моря; установлена зависимость их формирования от приливных процессов; выделены районы наибольшей встречаемости и очаги генерации внутренних волн; выделены районы постоянной встречаемости интенсивных короткопериодных внутренних волн. Кроме того, получены оценки пространственно-временной изменчивости

характеристик субмезомасштабных вихрей на акватории Белого моря, выявлены районы наибольшей и наименьшей встречаемости, а также выявлены особенности синоптической и мезомасштабной изменчивости основных фронтальных разделов и их структурообразующая роль в распределении короткопериодных внутренних волн и субмезомасштабных вихрей; оценен вклад субмезомасштабных явлений в горизонтальный и вертикальный турбулентный обмен в разных районах Белого моря. Дополнительно установлены особенности формирования и количественные параметры изменчивости температуры, солёности, течений на субприливных масштабах в зависимости от морфометрии дна, вертикальной структуры вод и близости фронтальных разделов; дано обоснование факта, что тонкая структура вод Белого моря формируется в основном под влиянием процессов, связанных с адвекцией, несоответствующей условиям изопикничности.

Полученные в диссертации результаты обладают **научной и практической значимостью**, в частности, совокупность полученных результатов можно квалифицировать как научное достижение, устанавливающее физико-географические закономерности субмезомасштабных процессов в Белом море в условиях современного меняющегося климата. Практическую значимость определяет также возможность использования полученных результатов для валидации высокоразрешающих термогидродинамических моделей, размещения хозяйств аквакультуры, повышения безопасности эксплуатации подводных объектов, решения экологических задач и минимизации возможных негативных последствий от катастрофических явлений. Кроме того, при разработке методов были созданы новые технические решения, относящиеся к области измерительной техники (системы и устройства для измерения топографии пикноклина и термоклина), а также программное обеспечение, которое может быть использовано в специализированных системах наблюдения за короткопериодной изменчивостью океанологических полей. Массивы накопленной информации включающей данные судовых и спутниковых наблюдений, уникальны по своему объему и набору параметров. Они могут использоваться для дальнейшего анализа, выявления закономерностей и моделирования. Обобщая этот раздел, можно сказать, что благодаря глубине и полноте проработки материала, диссертация Зимина А.В. фактически является энциклопедией субмезомасштабной изменчивости Белого моря.

Основные **положения** и результаты диссертационной работы достаточно четко обоснованы и доказаны. Особо необходимо подчеркнуть **личный вклад** автора, заключающийся в разработке методов исследований, в сборе и обработке исходного материала, постановке цели и задач исследования, их реализации, аналитическом обобщении полученных результатов. Автор лично

организовывал и провел все исследования, результаты которых представлены в диссертации. В частности, соискатель планировал, участвовал и руководил ежегодными экспедиционными исследованиями, выполнявшимися в Белом море в 2006-2014 гг. Он разработал оригинальную методику исследования субприливных процессов и явлений. Автор непосредственно принимал участие в создании программных продуктов для обработки данных и формировании баз данных, для получения новых данных им лично разработаны новые технические решения.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Общий объем работы – 235, страниц, включая 70 рисунков и 29 таблиц, список литературы содержит 195 источников. Автореферат в полной мере отражает материалы и основное содержание диссертации.

Во **введении** обоснована актуальность работы, описана степень разработанности проблемы, сформулированы цель и задачи исследования, описана область исследования, обоснованы использованная методология и методы исследования, научная новизна и практическая значимость работы, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Предмет исследования и особенности Белого моря как объекта мониторинга» описаны масштабы изменчивости гидрофизических полей, дан подробный обзор изученности процессов на масштабах полусуточного приливного цикла и менее в Мировом океане, приведены сведения о морфометрии дна, динамике, структуре вод и изменчивости термодинамических полей Белого моря, рассмотрены методы наблюдения (мониторинга) короткопериодной изменчивости гидрофизических полей и процессов в приливном арктическом море.

Во второй главе «Количественные характеристики изменчивости гидрофизических полей и тонкой структуры вод на субприливных временных масштабах в различных по гидрологическим условиям районах Белого моря» выявлены статистические особенности и характерные периоды колебаний температуры, солености и течений, оценены характеристики и причины формирования тонкой структуры вод в различных районах моря

В третьей главе «Короткопериодные внутренние волны» приведены статистические характеристики короткопериодного внутреннего волнения по данным контактных наблюдений на различных по гидрологическим условиям акваториях, пространственное распределение короткопериодного внутреннего волнения по акватории всего моря по данным спутниковых наблюдений, оценки динамических характеристик короткопериодного внутреннего волнения на акватории Белого моря на основе климатических данных.

В четвертой главе «Субмезомасштабные вихревые структуры и фронтальная динамика» приведены физико-географические особенности проявлений, распределения и динамики субмезомасштабных вихревых

структур, характеристики сезонной, синоптической и мезомасштабной динамики фронтальных разделов, особенности взаимосвязи фронтальной динамики и распределения субмезомасштабных вихрей и короткопериодных внутренних волн.

В пятой главе «Влияние короткопериодной изменчивости на особенности турбулентного обмена» описаны географические особенности распределения коэффициентов горизонтальной турбулентной вязкости и диапикнической диффузии на масштабах приливного цикла, и выполнена оценка влияния на них субприливных процессов и связанных с ними явлений.

Замечания по диссертационной работе

1) «На поверхности воды вихри проявляются как темные или светлые (относительно фона) нитевидные полосы, закручивающиеся в спирали» (стр. 55). Не понятно, как по спутниковым изображениям можно определить – вихрь закручивается или раскручивается? Аналогично, «Вихревые структуры по замкнутым изолиниям температуры и солености на картах были обнаружены в трех районах» (далее стр. 160). Не понятно, как можно только по изолиниям температуры или солености (пусть и замкнутым) определить присутствие в данном месте вихря и его полярность, если при этом не рассматривать поле течений или какие-либо характеристики поля уровня моря.

2) Данные климатического атласа ЕСИМО, на который ссылается автор, по предлагаемой ссылке http://data.oceaninfo.info/atlas/Beloe/1_1.html не существуют.

3) Указывается, что «причинами генерации мезомасштабных вихрей могут быть: 1) бароклинно-баротропная неустойчивость фронтальных течений, 2) топографические эффекты при обтекании подводных гор (антициклоны) и впадин (циклоны)» (стр. 194). Пункт 2) требует уточнения: во впадинах образуются не только циклоны, но и антициклоны. Например, Лофотенский вихрь, расположенный в Лофотенской котловине Норвежского моря, имеет антициклоническую завихренность.

4) Стр. 33. «...спутников серии NOAA и MODIS». Спектрорадиометр MODIS – не является спутником, это один из ключевых инструментов на борту американских спутников Terra и Aqua (комплексной программы NASA).

5) Стр. 61. «...целенаправленное сочетание спутниковых данных и учащенных во времени и пространстве наблюдений на океанографических полигонах». – Из работы не понятно, в каком смысле «учащенных», какие критерии выбора.

6) На стр. 110 идет описание пульсаций температуры и солености на горизонтах. Сделанный вывод о совпадении максимальных горизонтов не понятен (почему здесь волновой характер происхождения): «При этом горизонты максимальных положительных и отрицательных пульсаций

температуры и солености совпадают, что дает основание предполагать волновой характер их происхождения».

7) Стр. 144. Формула (3.2) – оценка фазовой скорости внутренних волн для двухслойной жидкости [используется формула (1.13) из монографии Коняев и Сабинин, 1992]. Однако в дальнейшем, взяв $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ автор получает, что волновое число k содержит в размерности радиан, следовательно, в формуле автора (3.2) в правой части под корнем содержится радиан. А в левой части формулы – нет, то есть размерности не совпадают. Очевидно, необходимо было преобразовать формулу (3.2), разделив в знаменателе k на 2π , либо указать эту поправку в тексте.

8) Не понятно, почему оценки фазовых скоростей проводятся разным формулам – для контактных данных по формуле (3.3), а по данным РЛ-снимков по формуле (3.2). Было бы логичнее оценивать и проводить сравнение, используя одну и ту же формулу.

9) Стр. 203. Не понятно, почему сгруппировав в группы отклонения от средней составляющей скорости, можно по знаку этих отклонений (положительному или отрицательному), который сохраняется в течение промежутка времени, получить вихри, наблюдающиеся в течение этого промежутка времени измерений.

10) Не указан источник методики, по которой рассчитываются коэффициенты горизонтального турбулентного обмена (параграф 5.1).

11) Качество большинства рисунков, заимствованных из других источников, недостаточное: рис. 1.1 и 1.2 и др.

12) Данные акустического доплеровского профилографа (стр. 91 и далее) анализировались стандартными статистическими методами с построением векторных диаграмм течений и пр. Но было бы правильнее проанализировать их векторно-алгебраическим методом анализа течений (методика В.А.Рожкова) с построением эллипса дисперсии течений. Этот лучше всего подходит для анализа данных ADCP.

Однако, несмотря на отмеченный ряд замечаний, они не снижают в целом высокой оценки научного содержания диссертационной работы, не снижают общего благоприятного впечатления от проведенного исследования и имеют часто рекомендательный характер.

Заключение официального оппонента

Глубина и тщательность проработки материала, богатый иллюстрированный материал, убедительность изложения, позволяют положительно оценить результаты диссертационного исследования. Диссертационная работа Зимина Алексея Вадимовича «ЗАКОНОМЕРНОСТИ

СУБМЕЗОМАСШТАБНЫХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ В БЕЛОМ МОРЕ» является законченным научным исследованием по актуальной тематике, результаты которого прошли широкую апробацию и, несомненно, будут использованы научным сообществом.

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались на многочисленных российских и международных научных семинарах и конференциях, а также по теме диссертации опубликована 51 научная работа, включая 1 раздел в коллективной монографии, 17 статей в отечественных и зарубежных рецензируемых журналах, входящих в Перечень изданий, рекомендованных ВАК. Кроме того, диссертантом в соавторстве получено 6 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ и 7 свидетельств о регистрации баз данных, лично 3 патента.

На основании вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что диссертация соответствует требованиям п.9 положения ВАК о порядке присуждения ученой степени №842 от 24 сентября 2013 года, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор Зимин Алексей Вадимович заслуживает присуждения ученой степени доктора географических наук по специальности 25.00.28 – Океанология.

Официальный оппонент
доктор географических наук,
старший научный сотрудник кафедры океанологии СПбГУ


Белоненко Татьяна Васильевна

Институт наук о Земле федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургского государственного Университета» (СПбГУ), 199178, г. Санкт-Петербург, 10 линия Васильевского острова 33-35
Тел: +7 (812) 328-97-09
E-mail: t.v.belonenko@spbu.ru

Личную подпись *Белоненко Татьяна Васильевна*

ЗАВЕРЯЮ

ЗАМЕСТИТЕЛЬ НАЧАЛЬНИКА
УПРАВЛЕНИЯ



Краснова Е.П.
09.08.2016