

На правах рукописи



Чурин Дмитрий Александрович

**МЕЗОМАСШТАБНАЯ ДИНАМИКА ВОД В АНТАРКТИЧЕСКОЙ
ЧАСТИ АТЛАНТИКИ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ
КРИЛЯ**

Специальность 25.00.28 – Океанология

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук**

Калининград – 2016

Работа выполнена на кафедре географии океана Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта»

**Научный
руководитель:**

Чернышков Павел Петрович
доктор географических наук, профессор

**Официальные
оппоненты:**

Захарчук Евгений Александрович
доктор географических наук, профессор,
Санкт-Петербургский государственный
университет, Институт наук о Земле,
заведующий кафедрой океанологии

Клепиков Александр Вячеславович
кандидат физико-математических наук,
Федеральное государственное бюджетное
учреждение «Арктический и антарктический
научно-исследовательский институт»,
заместитель директора по научной работе и
международному сотрудничеству

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «Всероссийский научно-
исследовательский институт рыбного
хозяйства и океанографии», г. Москва

Защита диссертации состоится 17 июня 2016 г. в 14:00 на заседании диссертационного совета Д.212.084.02 по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук при Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» по адресу: 236022, г. Калининград, ул. Зоологическая 2, ауд. 304 (актовый зал), e-mail: esogeography@rambler.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке (ул. Университетская, 2) и на официальном сайте ФГОУ ВО «БФУ им. И. Канта» (<https://www.kantiana.ru/postgraduate/dis-list/173761/>).

Автореферат разослан « ___ » _____ 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Галина Михайловна Барина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Согласно современным оценкам Международной комиссии по сохранению морских живых ресурсов Антарктики (АНТКОМ), допустимый вылов антарктического криля (*Euphausia superba* Dana, 1852) только в районе Антарктической части Атлантики (АЧА) может составлять не менее 5,6 млн. т. в год. По данным АНТКОМ в промысловый сезон 2014-2015 гг. вылов криля составил 221 тыс. т. Это говорит о том, что сырьевая база антарктического криля в значительной степени недоиспользуется.

Криль – ключевой элемент экосистемы Антарктики, жизнедеятельность которого как представителя антарктического планктона, связана с мезомасштабной динамикой (Масленников, 2003). Геострофический перенос криля вдоль «дуги Скотия» является неотъемлемой частью распределения в АЧА, где сосредоточен весь современный промысел. Поэтому для выработки мер по управлению ресурсами криля, разрабатываемых АНТКОМ на основе экосистемного подхода, необходимо исследование закономерностей формирования промысловых участков как в традиционных приостровных районах, так и в океанических частях моря Скотия.

Процессы транспорта скоплений криля течениями постоянны, однако их интенсивность и направления существенно зависят от изменчивости динамики вод: мезомасштабных вихрей, локальных фронтальных зон (Шульговский, 2005; Полищук, 2008) и положения струй течений, в которых формируются скопления криля, определяющие его биомассу в традиционных районах промысла и открытых частях моря Скотия.

Исследования мезомасштабной динамики вод в последние десятилетия приобретают все большую актуальность (Корчагин, Монин, 2004). С появлением высокоточных спутниковых измерений высоты уровенной поверхности океана появились новые возможности для изучения этих процессов (Лебедев, 2005, 2011; Shelton и др., 2011). Характеристики поверхностных течений, положения фронтальных зон и мезомасштабных вихрей, полученные по альтиметрическим данным, соответствуют результатам прямых измерений акустическим доплеровским профилографом течений (ADCP), спутниковым данным по температуре поверхности океана, STD-измерениям (Кошляков и др., 2012; Тараканов и др., 2010; Sokolov и др., 2009; Vasquez и др., 2013).

В связи с этим, анализ мезомасштабной динамики вод в АЧА на основе современных средств сбора и обработки информации позволят получить новый фактический материал для научного обеспечения ресурсных исследований и промысла криля.

Степень разработанности проблемы. Для исследования мезомасштабной динамики вод в Антарктической части Атлантики применялись различные подходы – от использования данных о дрейфе льдов, распределении температуры поверхности океана, интенсивности атмосферных переносов (Федулов и др., 1990) до инструментальных измерений и математического моделирования (Гурецкий, 1987; Зырянов и др., 1976; Саруханян, 1980).

Первые оценки переносов антарктического криля были сделаны в экспедициях Атлантического научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (АтлантНИРО) на полигонах в промысловых подрайонах моря Скотия: о. Южная Георгия в мае-июне 1991 г., Южных Оркнейских островов в апреле 1992 г. и феврале 1996 г. Было показано, что в течение промыслового сезона могут иметь место процессы многократного вноса-выноса криля через участки промысла, в отдельных случаях распределение криля может изменяться в течение нескольких суток (Касаткина, Шнар, 2006; Касаткина, 2014). Подтверждено, что мезомасштабные вихри влияют на перемещение скоплений криля. Однако из-за недостаточного количества натуральных данных, т.к. эксперименты были выполнены на локальных акваториях не было выявлено, к вихрям какого знака чаще всего приурочены скопления, а также в каких частях вихрей они располагаются. Поэтому изучение влияния мезомасштабной динамики вод на переносы скоплений криля продолжает оставаться актуальным.

Цель работы: исследовать динамику мезомасштабных вихрей и течений в Антарктической части Атлантики по альтиметрическим измерениям уровня океана и определить их влияние на распределение антарктического криля.

Задачи исследования:

1. Исследовать структуру мезомасштабной динамики вод в Антарктической части Атлантики.
2. Верифицировать скорости течения, вычисленные по альтиметрическим измерениям, сопоставив их с результатами прямых инструментальных наблюдений.
3. Дать характеристику пространственно-временной изменчивости мезомасштабных вихрей и полей течений.
4. Оценить приуроченность скоплений криля к определенной области и типу вихрей.
5. Создать проблемно-ориентированную базу океанологических данных и разработать программную среду для анализа данных и визуализации результатов.

Объект исследования – мезомасштабная динамика вод в районе Антарктической части Атлантики.

Предмет исследования – особенности поверхностных течений в районах фронтальных зон и приуроченных к ним мезомасштабных вихрей и их влияние на распределение криля.

Научная новизна результатов, полученных в работе. Впервые разработана пространственная классификация поверхностной структуры вод района АЧА с использованием данных спутниковой альтиметрии.

Впервые на основе альтиметрических измерений описаны мезомасштабные вихри, приуроченные к конкретным фронтальным зонам и водным массам моря Скотия. Определены акватории с наибольшей повторяемостью циклонических и антициклонических вихрей, получены новые представления о сезонной и межгодовой изменчивости поверхностных течений на акватории АЧА.

На основе сопоставления данных международной комплексной съемки криля (KSS-2000) и аномалий уровня океана в период выполнения съемки впервые установлено, что наиболее плотные скопления криля приурочены к перифериям мезомасштабных вихрей и чаще всего отсутствовали в их центрах.

Теоретическая значимость результатов состоит в получении новых представлений о мезомасштабной динамике вод в АЧА: акваториях стационарирования вихрей, траекториях перемещения, характерных горизонтальных масштабах и времени жизни, особенностях полей течений.

Практическая значимость результатов состоит в том, что они могут использоваться для прогнозирования формирования промысловых участков в приостровных и океанических районах моря Скотия. Установлено, что наиболее плотные скопления криля приурочены к областям со значениями аномалий уровня от -5 до +5 см.

Результаты сопоставления прямых (ADCP) измерений скоростей течений с альтиметрическими данными, показали, что альтиметрия достоверно отражает пространственные особенности поля течений, зоны интенсификации и ослабления, а также мезомасштабные вихри и фронтальные зоны. Полученные результаты важны для прогнозирования перемещений криля.

Теоретической основой исследования послужили монографии Н.Н. Корчагина и А.С. Моница «Мезоокеанология» (2004), В.В. Масленникова «Климатические колебания и морская экосистема Антарктики» (2003), а также опубликованные результаты сотрудников АтлантНИРО (1971-2014). Кроме того, использованы работы Р.Ю. Тараканова (ИО РАН им. П.П. Ширшова) по анализу прямых измерений скоростей течений в Южном океане, а также статьи зарубежных коллег (Siegel V., Orsi A.H., Murphy E.J., Gordon A.L.) и др.

Для анализа данных применялись методы многомерного статистического анализа (Малинин и др., 2009; Чернышков и др., 2003) с использованием стандартных пакетов компьютерных программ,

геоинформационные технологии, а также система управления базами данных Microsoft Visual FoxPro.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Мезомасштабные вихри различного знака вращения наблюдаются во всех фронтальных зонах АЧА; район максимальной интенсивности вихреобразования – Южная полярная фронтальная зона, минимальной – зона северной периферии моря Уэдделла. Течения моря Скоттия имеют различные пространственно-временные масштабы, которые находятся в диапазоне масштабов синоптических процессов в океане.

2. Расчеты параметров течений, проведенные по спутниковым данным, усредненным в узлы регулярной сетки координат, достоверно характеризуют пространственные особенности поля течений, области их интенсификации и ослабления, мезомасштабные вихри и локальные фронтальные зоны, однако могут занижать значения скорости течения.

3. Особенности динамики мезомасштабных вихрей, выявляемых по альтиметрическим измерениям, определяют особенности перемещений скоплений криля различной плотности, наиболее плотные скопления приурочены к периферии мезомасштабных вихрей и иногда к их центральной части.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Выполненные исследования соответствуют паспорту специальности 25.00.28 - океанология, п. 3: динамические процессы (волны, вихри, течения, пограничные слои) в океане.

Апробация результатов. Работа выполнялась в рамках плановой тематики Атлантического научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (АтлантНИРО) Федерального агентства по рыболовству. Результаты обсуждались на годовых отчетных сессиях Ученого совета АтлантНИРО в 2012–2015 гг. Отдельные части работы и работа в целом представлялись и обсуждались на Международной конференции по промысловой океанологии (Калининград, 2014, 2011 г.), ежегодной конференции Международного совета по изучению морей (ICES, 2013 г.), конференциях БФУ имени И. Канта (2010 - 2012 гг.), Калининградского государственного технического университета (2013 г.), Калининградского отделения Русского географического общества (2011, 2012 г.), на коллоквиуме отдела экосистем Антарктики Института морского рыболовства (Гамбург, ФРГ, 2014 г.).

Личный вклад автора состоит в сборе и обработке данных, создании архивов за период с 1983 по 2015 гг. с разработкой функционального программного обеспечения, анализе результатов, написании текстовой части работы.

Структура диссертации. Работа изложена на 143 страницах текста, состоит из 5 глав, содержит 60 рисунков, 9 таблиц, в списке используемой литературы 160 источников, в том числе 62 на иностранном языке.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 работ, в том числе 2 статьи - в ведущих изданиях, рекомендованных ВАК для опубликования результатов диссертационных работ.

Благодарности. Выражаю признательность научному руководителю д.г.н., проф. П.П. Чернышкову, сотрудникам ФГБНУ АтлантНИРО: к.г.н. И.А. Полищуку, к.г.н. В.Н. Шнару, к.т.н. С.М. Касаткиной, к.г.н. Е.Н. Тимохину, О.Ю. Краснобородько, С.Е. Алексееву, к.г.н. С.Н. Бурыкину, В.И. Архипову, к.г.н. А.В. Ремесло, к.б.н. С.Ю. Гулюгину; д.ф.-м.н., зав. кафедрой географии океана проф. В.А. Гриценко; к.г.н. М.О. Ульяновой и д.ф.-м. Р.Ю. Тараканову (ИО РАН им. П.П. Ширшова) - за внимание к работе и полезные советы при ее выполнении.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во Введении обосновывается актуальность работы, выполнена постановка проблемы и освещается степень ее изученности, формулируется цель, задачи и защищаемые положения исследования, приводятся теоретическая, и методологическая основы исследования.

В первой главе дано физико-географическое описание района Антарктической части Атлантики.

В разделе 1.1 приводятся структурные особенности рельефа дна моря Скотия. На севере района расположен Южно-Антильский хребет, состоящий из трех крупных массивов: банки Бердвуд, скал Шаг и Блэк-Рок, о. Ю. Георгия. Восточнее его продолжает архипелаг Ю. Сандвичевых островов, а с юга архипелаги Ю. Оркнейских и Ю. Шетландских островов.

Раздел 1.2 посвящен описанию водных масс в Антарктической части Атлантики. Верхний слой вод Южного океана формируется в основном под действием климатических факторов. В приантарктической области нижняя граница поверхностной структурной зоны простирается до глубин 150-200 м. Выделяют несколько разновидностей поверхностных водных масс – антарктическая поверхностная водная масса (АПВ), субантарктическая поверхностная водная масса (САПВ) и субтропическая поверхностная водная масса (СПВ), отличающихся между собой как по характеристикам, так и по глубине залегания (Саруханян, Смирнов, 1986). Антарктическая поверхностная водная масса (АПВ) простирается от материкового шельфа до зоны антарктической конвергенции. Поверхностные воды Южной полярной фронтальной зоны (ЮПФЗ), разделяющей субантарктическую и антарктическую зоны, характеризуются широким диапазоном температуры воды: от 2,5-4,0°C на южной границе, до 5,0-9,0°C – на северной (Масленников, 1979). Соленость в ЮПФЗ изменяется в пределах 33,9-34,2‰. М.А. Богданов и др. (1980) выделяют в качестве модификации АПВ – смешанные воды вторичной фронтальной зоны (ВФЗ).

В разделе 1.3 рассматриваются гидрологические фронты. Широтные изменения гидрофизических характеристик при переходе от антарктических вод к субтропическим происходят скачкообразно, соответствуя климатическим фронтальным разделам и зонам, наиболее ярко выраженным в распределении гидрологических и гидрохимических характеристик водных масс в верхнем 1000-метровом слое. Самый северный из фронтов, отделяющий субтропическую зону от субантарктической, носит название субтропической конвергенции (СТК), или Субтропический фронт (СТФ). Так как СТК является скорее зоной, чем фронтом, и имеет достаточную протяженность по долготе, вместо одного СТФ выделяют северный и южный фронты, которые ограничивают Субтропическую фронтальную зону с севера и юга соответственно (Belkin, Gordon, 1996). Далее на юг простирается субантарктическая (умеренная) зона, в которой находится область субантарктической дивергенции (САД). Ее положение отмечается по характерному положению изотерм и изохалин на вертикальных разрезах (Иванов, Нейман, 1965). Южнее субантарктической зоны, до побережья Антарктиды, расположена антарктическая зона.

Переходная область между субантарктической и антарктической зонами имеет сложную пространственную структуру и носит название южной полярной фронтальной зоны (ЮПФЗ). На севере ее расположен субантарктический фронт (САФ). На юге находится антарктический полярный фронт (ПФ), он же – антарктическая конвергенция. Фронтальные разделы образуются и между разными модификациями вод внутри одного климатического структурного типа антарктических вод. Примером может служить вторичная фронтальная зона Антарктики (ВФЗА), приуроченная к северной периферии циркумполярной цепи циклонических круговоротов и разделяющая воды высокоширотной модификации и воды южной периферии АЦТ и таким образом, являющаяся циркумполярной особенностью структуры антарктических вод (Масленников, Попков, 1988; Масленников, 1995). П.П. Федулов и В.Н. Шнар (1990), показали, что на всем своем протяжении холодные воды круговорота Уэдделла отделены от более теплых вод на севере хорошо выраженной фронтальной зоной, названной фронтальной зоной круговорота Уэдделла. В западной части Атлантического сектора, в море Скотия, зона взаимодействия вод моря Уэдделла и вод АЦТ отечественными исследователями названа вторичной фронтальной зоной (ВФЗ). Воды моря Уэдделла располагаются к югу от ВФЗ, в южной части моря Скотия. Наиболее далеко на север они проникают к востоку от Южных Оркнейских островов, так как западнее островов главным препятствием для них служит Южно-Антильский хребет (Шнар, 1998).

В разделе 1.4 рассмотрены особенности горизонтальной циркуляции вод. В Антарктическую часть Атлантики через пролив Дрейка поступают

воды Антарктического циркумполярного течения (АЦТ). В самом проливе отчетливо выделяются четыре струи с повышенными скоростями: течение Мыса Горн, две струи центрального потока АЦТ и течение из моря Беллинсгаузена. Наиболее высокие скорости наблюдаются в верхнем 1000-метровом слое. По мнению Э.И. Саруханяна и Н.П. Смирнова (1986), основным критерием выделения границ АЦТ должно быть различие в свойствах вод, переносимых как АЦТ, так и южной периферией субтропических антициклонических круговоротов на северной границе и северной периферией субполярных круговоротов на южной границе. Таким образом, АЦТ – проникающее почти до дна квазизональное течение с крупномасштабными стационарными меандрами. Некоторое увеличение меридиональных движений в глубинных слоях связано с воздействием рельефа дна.

Раздел 1.5 посвящен описанию ледовых условий района. В течение всего года Антарктида окружена дрейфующими льдами. Летом вплоть до побережья может наблюдаться чистая вода, зимой дрейфующий лед может достигать 54° ю.ш. Внешняя граница ледяного покрова ориентирована в основном в широтном направлении, что согласуется с характером атмосферной и океанической циркуляций, имеющих преобладающую зональную направленность. АЦТ играет большую роль в распространении дрейфующего льда и айсбергов в низкие широты. Нарушение зональности потока вод в АЦТ, как, например, отклонение потока вод к югу в круговороте Уэдделла оказывает существенное влияние на положение кромки дрейфующих льдов и формирование ледовых условий.

Атмосферная циркуляция и особенности распределения поля приземного ветра рассмотрены в *разделе 1.6*. Антарктический континент окружен областью пониженного атмосферного давления, или активной циклонической деятельности, в котором выделяют ряд климатических центров низкого давления. В АЧА такие центры расположены над морем Уэдделла, Берегом Принцессы Марты и в море Рисер-Ларсена. Севернее области низкого давления, между 20-40° ю.ш., находится субтропический пояс высокого давления, гребни которого ориентированы с севера на юг над одними и теми же географическими районами. В Атлантическом океане такой четко выраженной областью высокого давления является южноатлантический антициклон. Пространственное распределение характеристик скорости и направления ветра в данном районе отличается значительной неоднородностью. В то же время прослеживается зональность в поле скоростей. В зоне 45° - 50° ю.ш. в течении всего года наблюдается область повышенных средних значений скорости ветра. Области пониженных значений скорости отмечаются севернее 40° ю.ш. и в приантарктической области от 62° - 77° ю.ш., включая Антарктический полуостров и море Уэдделла. Над Антарктическим материком скорости ветра вновь повышаются.

Во второй главе охарактеризованы используемые данные и методы их обработки.

В *разделе 2.1* приведены источники анализируемых данных. В качестве исходных материалов использовались:

1. Альтиметрические измерения: абсолютной динамической топографии поверхности океана (АДТ), расчетные скорости поверхностных течений, аномалия уровня океана (АУО), предоставленные центром данных AVISO (Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data). Массив представляет собой объединенные за 6 дней данные в узлах регулярной сетки координат. Шаг между узлами составляет $0,25^\circ$ по широте и долготе. Используются данные с января 1993 г. по декабрь 2014 г. Исследуемый район располагается в границах 48° – 63° ю.ш., 72° – 20° з.д.;

2. Массив данных «Mesoscale eddies in Altimeter Observations of SSH», созданный в рамках глобального исследования нелинейных мезомасштабных вихрей (Chelton et al, 2011), период используемых данных 1992-2013 гг.;

3. Данные поверхностных дрейфтеров Global Drifter Program за период 01.02.2011 – 16.02.2011;

4. Результаты прямых ADCP измерений проекта Clivar/CO2 Repeat Hydrography по данным гидрофизического разреза A16S_2005a (WOCE) в период 11.01.2005 г. по 24.02.2005 г.;

5. Массив NCEP–NCAR (National Centers for Environmental Prediction – National Center for Atmospheric Research). Используются среднемесячные значения атмосферного давления на уровне моря, скорости приземного ветра, сплоченности морского льда с января 1949 г. по настоящее время. Пространственная дискретность данных – $2,5^\circ$ по широте и долготе;

6. Результаты международной съемки антарктического криля KSS-2000. Съемка выполнялась в период с 10 января по 11 февраля 2000 г. В работе используются 9536 определений плотности криля на 53 разрезах.

Раздел 2.2 посвящен методам обработки и анализа данных.

В третьей главе приводится краткое описание биологии и криля.

Раздел 3.1. Всего в Антарктике встречаются 16 видов эвфаузиид, наибольшую численность и биомассу имеет вид *Euphausia superba*, который представляет наибольший интерес для промысла. Описаны три основные размерно-возрастные группы этого вида: личинки (возраст 0+), молодь (1+) и взрослые (потенциально половозрелые) особи (2+ и более) (Marr, 1962; Макаров, 1971). Пик нереста наблюдается обычно в середине февраля. Взрослые особи антарктического криля обитают в верхнем 200-метровом слое, молодь встречается до глубины 300 м, и только личинок можно встретить глубже 500 м. Промысловые скопления располагаются на глубинах от 10 до 50 м, но могут встречаться как на поверхности, так и на глубинах 120-130 м. Вертикальное распределение криля в течение года

тесно связано с сезонным ходом биологических и океанологических факторов.

Особенности пространственного распределение криля приводится в *разделе 3.2*. Известно, что динамика вод является основным фактором, обеспечивающим распределение криля, а также возможный обмен между популяциями и поддержание этих популяций. Н. Макинтош (1973) отмечал, что чаще всего криль встречается в Антарктическом прибрежном течении, затем далее к северу его количество убывает и вновь увеличивается на северной периферии круговорота Уэдделла. Такую картину распределения подтверждают и другие авторы, согласно которым основа ареала криля в Атлантическом секторе приурочена к высокоширотным модификациям АПВ, находящимся южнее ВФЗ и к стационарным приматериковым круговоротам, таким как круговорот Уэдделла. Воды же южной периферии АЦТ являются зоной так называемого нестерильного выселения или экспатрированной части популяции. Массовый перенос криля происходит на периферии приматериковых циклонических круговоротов, таких, как круговорот Уэдделла, причем распространение на север происходит по их западным ветвям. Наиболее значимыми физическими факторами на образование скоплений рачков являются направление крупномасштабных течений и наличие различного масштаба квазистационарных вихревых образований, в которых задерживаются рачки, что способствует сохранению и поддержанию популяций.

В 4 главе представлены результаты районирования вод Антарктической части Атлантики и исследования их мезомасштабной динамики.

В *разделе 4.1* приведена классификация вод по данным абсолютной динамической топографии. Уровненная поверхность принимает значения от -146 см на юго-западе в районе море Уэдделла, до 46 см западнее Фолклендских о-вов. В районе Ю. Сандвичевых островов наблюдается вынос смешанных уэдделломорских вод на север, северо-запад. Нарушение зональности потока отмечено в районе Фолклендского течения. Наибольшая динамическая изменчивость характерна для районов 54° - 58° ю.ш., 45° - 72° з.д. и 48° - 53° ю.ш., 25° - 55° з.д.

На основе кластерного анализа выделены два основных района изменчивости динамических процессов, соответствующих южной (I) и северной (II) частям АЧА (рис. 1). Всего было выделено 5 классов.

Класс Ia расположен на самом юге района и характеризуется слабовыраженными потоками восточного, северо-восточного направления. Основное нарушение зональности потоков прослеживается в районе Ю. Сандвичевых островов, где наблюдается поступление вод из моря Уэдделла. Этот класс можно ассоциировать с северной периферией круговорота Уэдделла (ВМУ).

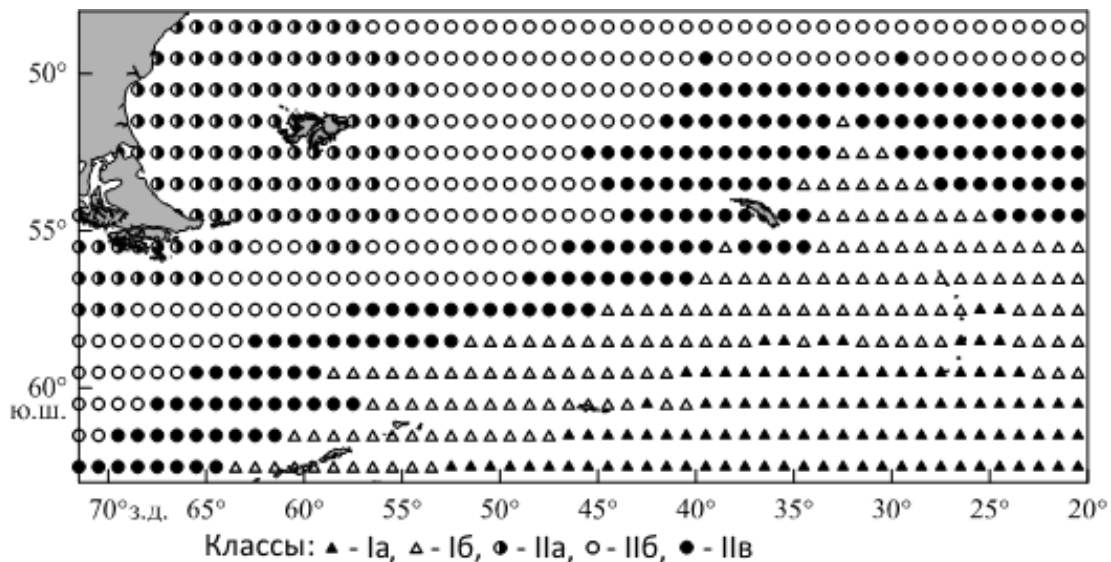


Рисунок 1 – Районирование района АЧА по результатам кластерного анализа

Класс Ib является пограничным с морем Уэдделла. Он охватывает шельфовую зону Ю. Шетландских островов, центральную часть моря Скотия и в его восточной части занимает уже значительные площади. Поток вод, который ассоциируется с этим классом, далее распространяется в восточном направлении и испытывает значительные отклонения сначала к северу, затем к югу вдоль дуги Ю. Сандвичевых островов. В пределах этого класса располагается вторичная фронтальная зона (ВФЗ). Класс IIa занимает северо-западную часть рассматриваемого района. Эта область распространения субантарктической поверхностной водной массы (САПВ). Здесь располагается северная ветвь АЦТ, которая в дальнейшем дает начало Фолклендскому течению. Южнее расположен класс IIб, который занимает центральную часть пролива Дрейка и далее распространяется на северо-восток и север. Отмечается значительное зональное расширение этого класса северо-восточнее Фолклендского течения.

В этом районе наблюдается максимальная изменчивость уровня океана и его можно интерпретировать, как поток АЦТ, связанный с южной полярной фронтальной зоной (ЮПФЗ). Класс IIв расположен южнее и распространяется от пролива Дрейка в восточном, затем северо-восточном направлении, охватывая Ю. Георгию и далее расширяется к юго-востоку. Эту область можно обозначить как район распространения антарктической поверхностной водной массы (АПВ). Проведенное деление на районы в целом совпадает с классическими представлениями о физико-географических районах данного региона.

Раздел 4.2 посвящен результатам анализа данных о мезомасштабных вихрях в АЧА. В Антарктической части Атлантики за период 1993-2011 гг. наблюдались циклонические и антициклонические вихри с различными

характеристиками. В целом для данного района отмечается некоторое преобладание циклонов (4088 шт.) над антициклонами (3875 шт.). Средний радиус циклонов составляет 57 км. Половина (52%) от общего числа циклонов имеют радиус в пределах 50-80 км. В редких случаях (1%) отмечаются циклоны с радиусом от 120 до 140 км. Амплитуда (перепад высоты от центра к периферии) циклонов в среднем равна 6,9 см. Амплитуды 74% циклонов не превышают 10 см. Средняя скорость вращения составляет 14 см/с. Характеристики антициклонов имеют схожие значения. Радиус равен 56 км. Амплитуды несколько выше – 8 см, средняя скорость вращения составляет 15 см/с. Места наибольшей повторяемости прохождения вихрей соответствуют регионам с высокой изменчивостью абсолютной динамической топографии. Это свидетельствует о значительной амплитуде вихрей, проходящих через данный район.

Зона северной периферии моря Уэдделла (класс Ia, ВМУ) – район с наименьшими скоростями течений и областью с наиболее низкой интенсивностью вихреобразования. Однако значительную часть времени он закрыт льдами, поэтому описание приводится для весенних и летних месяцев. За период наблюдений с 1993 по 2011 гг. здесь были отмечены 152 циклонических вихря. Разница уровня между центром и периферией (амплитуда) вихря в редких случаях достигала 12 см. Средняя скорость вращения составила 7 см/с, средняя пройденная дистанция за сутки – 2,6 мили, при максимальной в 10,6 мили. Антициклонических вихрей наблюдалось несколько меньше – 134. Их динамические параметры лежат в тех же пределах, что и для циклонов.

Количество циклонов и антициклонов в районе ЮАЦТФ (ВФЗ, класс Ib) значительно больше, чем в водах море Уэдделла. Всего было выделено 889 антициклонических вихрей. Их амплитуда также не высока, в среднем 4 см. Среднее «время жизни» до полной диссипации – 6,4 недели. За это время вихри преодолевали дистанцию в 123 мили.

Вихревая активность в САПВ (класс IIa) выше, чем в зонах смежных с водами море Уэдделла. Всего здесь наблюдалось 738 вихря, из них 337 циклонических и 401 антициклонических. Большая часть перемещается через северную часть пролива Дрейка на восток. Циклонические вихри несколько мощнее, чем антициклонические. Средняя амплитуда уровня в вихрях обоих знаков составляет 12 см, скорость вращения 21 см/с при диаметре в 71,2 км.

Наиболее интенсивный район вихреобразования – ЮПФЗ (класс IIb). Для него характерны вихри с наибольшими амплитудами, горизонтальными размерами, скоростями вращения и передвижения. Всего за рассматриваемый период здесь наблюдалось 2843 вихря.

Район распространения АПВ (класс IIв) также характеризуется достаточно интенсивным вихреобразованием. Всего здесь наблюдалось

1236 циклонических и 1202 антициклонических вихря. Их амплитуды несколько ниже, чем в северных районах, но значительно южных. Средние циклоны имеют горизонтальные размеры порядка 123 км в диаметре и амплитуду 8 см. Время жизни составляет 8,5 недель, за которые в среднем они проходят 142 мили.

Для описания сезонного и межгодового хода, и оценки статистических характеристик аномалий уровня в разных частях моря Скотия были выбраны 5 реперных точек. Точка №1 расположена в центральной части пролива Дрейка, №2 – восточнее острова Эстадос, №3 – в центральной части моря Скотия, №4 – северо-восточнее острова Южная Георгия и точка №5 – севернее Ю. Сандвичевых островов (рис. 2).

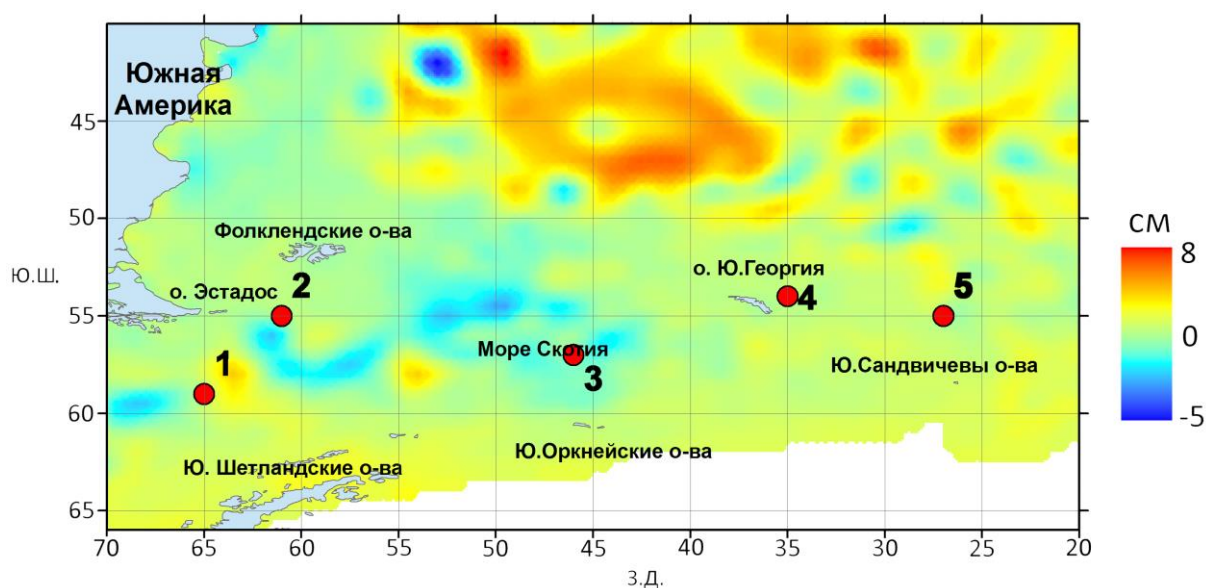


Рисунок 2 – Усредненное поле аномалии уровня океана за период 01.12.1999 - 01.12.2000 и положение анализируемых точек

Вихри с наибольшими амплитудами изменения уровня океана (АУО) чаще всего наблюдаются в районе пр. Дрейка (№1) где отмечаются наибольшее количество наблюдений с максимальными (>15 см) и минимальными значениями (<-15 см) АУО. Преобладание положительных аномалий над отрицательными может указывать на то, что антициклонические вихри проходят через эту область гораздо чаще.

Район восточнее о. Эстадос (№2), можно назвать северной границей на пути движения вихрей. Здесь наблюдаются значения АУО в диапазоне от -7 до 7 см. Центральная часть моря Скотия (№3) отличается большим количеством значений аномалий уровня океана в пределах от -15 до -7 см и от 7 до 15 см, что говорит о прохождении вихрей средней мощности. Район восточнее о. Ю. Георгия (№4), напротив, характеризуется наименьшим количеством наблюдений со значительными аномалиями уровня океана. Максимально наблюдаемое значение аномалии уровня

океана (АУО) составило 14 см, минимальное -9 см. Среднеквадратичное отклонение значения АУО у о. Ю.Георгия соответствует 3 см, что свидетельствует о достаточно слабой динамической активности в данном районе. Акватория севернее Ю. Сандвичевых островов (№5) также характеризуется преобладанием положительных аномалий над отрицательными. Однако в данном районе динамическая активность более высокая, чем восточнее о. Ю. Георгия.

Спектральный анализ данных выявил полугодовую, годовую и четырехлетнюю периодичности. Анализ среднемноголетнего внутригодового хода в центральной части моря Скотия, в районах Ю. Сандвичевых островов и о. Ю. Георгия показал, что с марта по июнь происходит падение значений АУО. Это может быть связано с возрастающим количеством циклонических вихрей и усилением их мощностей. С июля по сентябрь повышаются значения АУО, затем усиливаются циклоническая активность в сентябре - ноябре и с декабря по февраль отмечается рост АУО, что связано с усилением антициклонической деятельности.

Результаты анализа скоростей течения в море Скотия по данным спутниковой альтиметрии представлены в *разделе 4.3*. Рассматриваемая область (рис. 3) охватывает северную периферию моря Уэдделла (класс Ia).

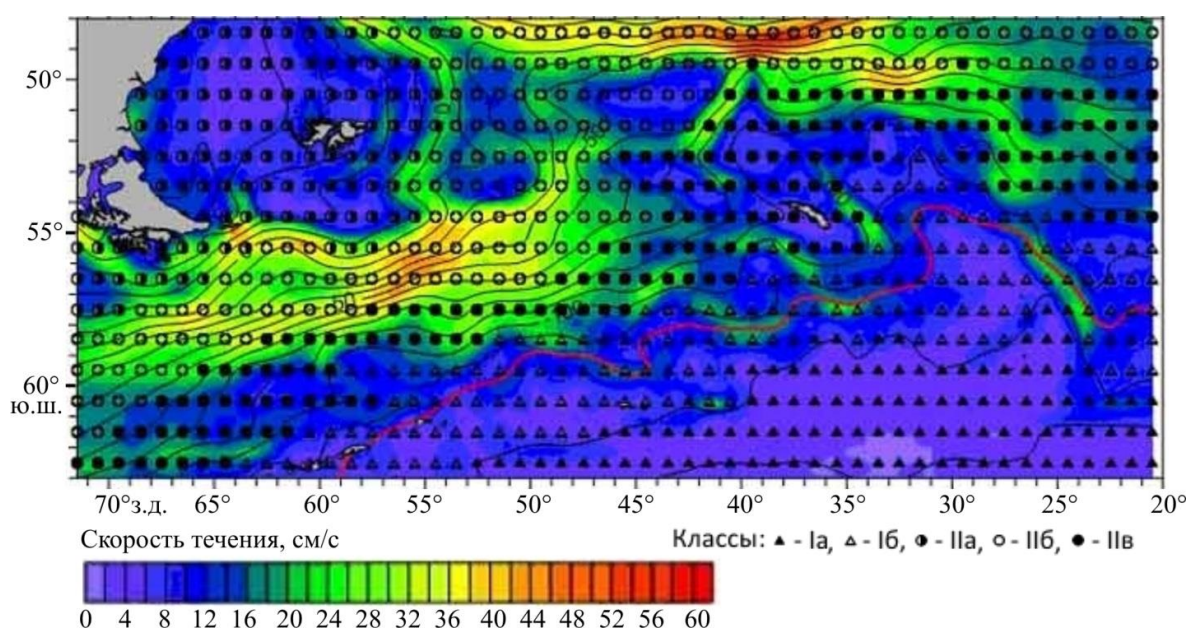


Рисунок 3 – Среднемноголетнее распределение скоростей течений, абсолютной динамической топографии (изолинии) и классов кластерного анализа АДТ за период 1993-2012 гг.

Это район наиболее слабых течений. Средняя скорость составляет 3,7 см/с, преобладают направления восточных и северных румбов. В 80% случаев скорость изменяется в пределах от 0 до 10 см/с. Усиление до 20

см/с характерно для восточных потоков. Течение уэдделломорских вод на западе от Ю. Сандвичевых о-вов имеет скорости до 10 см/с.

Область ЮАЦТФ (Іб, ВФЗ), является важной частью ареала обитания криля в АчА, поэтому анализ гидрофизических процессов имеет большое значение. Средние скорости течений здесь составляет 8,7 см/с. Чаще всего наблюдаются скорости от 0 до 20 см/с (68%), 10-25 см/с - 25%. Характерное направление - восточное. Отмечается отклонение потока в северо-западном направлении по дуге Ю. Сандвичевых островов, в район о. Ю. Георгия со скоростями 0-10 см/с, гораздо реже 10-20 см/с. Для САПВ (класс Іа) средняя скорость течения составляет 15 см/с. В целом в 76% случаев преобладают скорости от 0 до 20 см/с. Эту область можно разделить на 2 подрайона с существенно отличными характеристиками - воды пролива Дрейка и Патагонии. Для подрайона в пр. Дрейка зачастую наблюдаются скорости от 30 до 70 см/с, максимальная зафиксированная по альтиметрическим данным составляет 140 см/с. Направления течения преимущественно северо-восточное. Для этого района характерны наибольшие в САПВ значения дисперсии и стандартного отклонения скоростей течения. Это происходит из-за достаточно интенсивных мезомасштабных вихрей, проходящих через северную часть пр. Дрейка. Для Патагонских вод характерны значительно более умеренные скорости, преимущественно до 30 см/с и северное направление течения.

Максимальные скорости течения наблюдаются в ЮПФЗ. Средняя скорость составляет 25 см/с. Также ЮПФЗ является областью наиболее интенсивного вихреобразования, что косвенно подтверждается максимальными значениями стандартного отклонения скорости. Преобладают скорости от 20 до 70 см/с (50% наблюдаемых случаев). Для течения характерны направления восточных румбов, наибольшая повторяемость направления - 70°. Посредством спектрального анализа выделены следующие периоды: полугодовой, 1,5-летний, 4-летний. Поток АПВ (класс Ів) направлен на восток, северо-восток, со скоростями от 0 до 20 см/с (66%), также наблюдаются и более высокие скорости от 20-50 см/с (32%). Нарушение зональности потока наблюдается на север и северо-восток от о. Ю. Георгия, однако его скорость несколько ниже 0-30 см/с.

Результаты сопоставления скоростей течений полученных на основе спутниковой альтиметрии и прямых (ADCP) измерений показали, скорости течения, рассчитанные по спутниковой альтиметрии, несколько занижены относительно фактически измеренных. Среднее отклонение составляет 56% по скорости от данных ADCP. Значительно лучший результат дает сопоставление изменчивости поля течения по пространству. Высокий коэффициент корреляции (0,7) зональной и меридиональной составляющих вектора скорости, полученный по данным прямых наблюдений и спутниковой альтиметрии свидетельствует о высокой связи этих параметров.

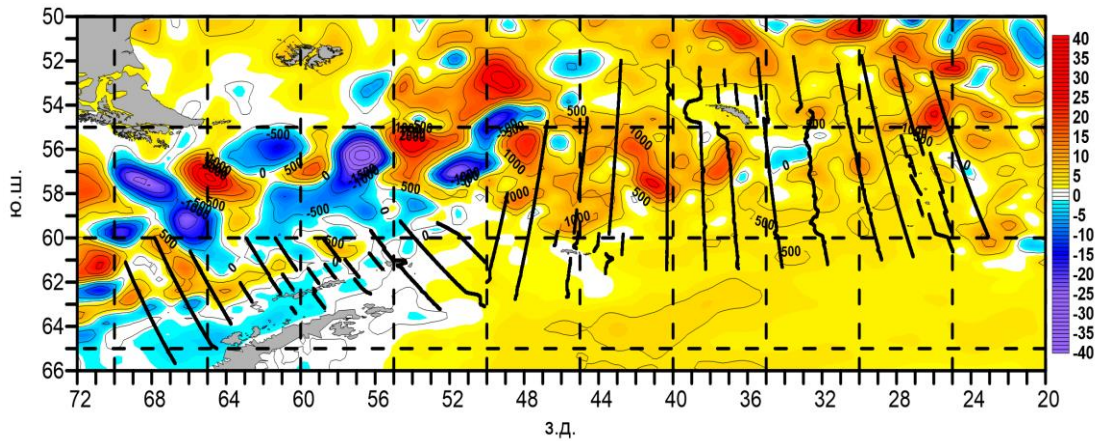


Рисунок 4 – Средняя аномалия уровня океана (см, цветная заливка) за период 10.01 - 11.02.2000 г. Черные линии - галсы измерений биомассы криля

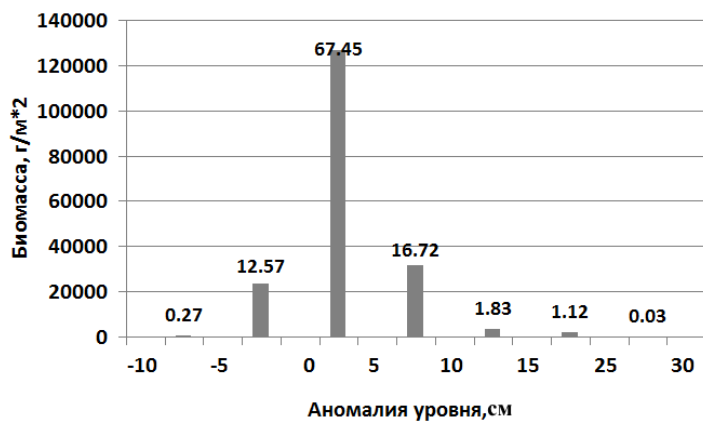


Рисунок 5 – Распределение измеренных величин биомассы криля за 10.01 - 11.02.2000 г. по диапазонам аномалий уровня океана

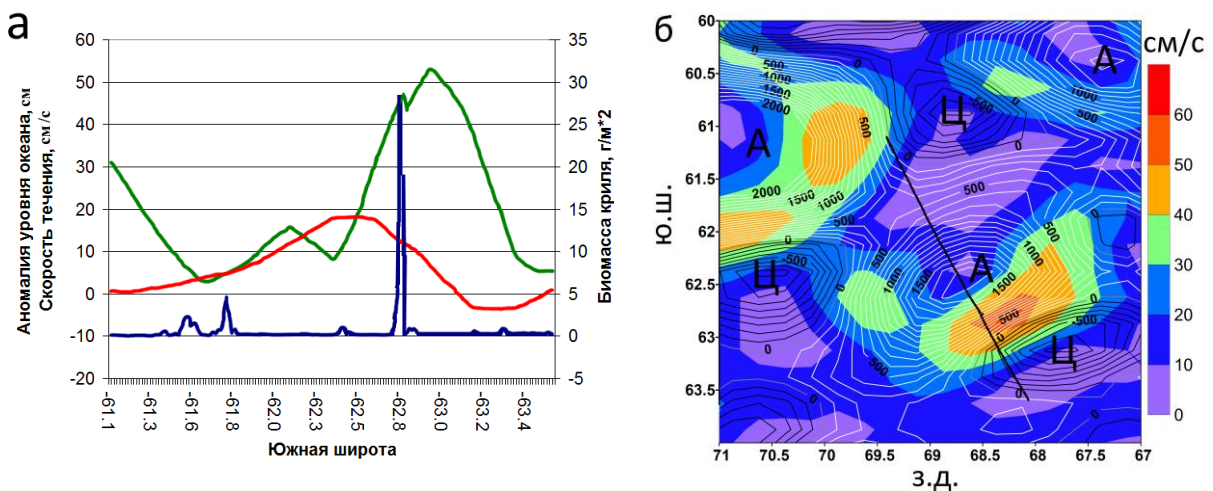


Рисунок 6 – Распределение биомассы криля на акустическом галсе 08.02.2000. а - биомасса криля (синяя линия), скорости течения (зеленая линия) и аномалии уровня океана (красная линия) вдоль галса; б – схема положения антициклонов (А) и циклонов (Ц), скоростей течений (цветная заливка) и галса акустического профилирования биомассы криля (черная линия)

Глава 5 содержит результаты исследования параметров мезомасштабной динамики вод, выраженных аномалиями уровня океана и скоростями течений по альтиметрическим измерениям, во взаимосвязи с пространственной изменчивостью распределения плотности биомассы криля в районе АчА по результатам международной синоптической съемки криля KSS-2000.

Характер поля аномалии уровня океана (АУО) во время съемки был обусловлен положительной аномалией на большей части моря Скотия (рис. 4). Западнее 53° з.д. преобладали отрицательные аномалии уровня, а восточнее положительные. Прибрежная область Антарктического полуострова также находилась в области понижения уровня. Скорости течений на акватории съемки изменялись в широких пределах. Средние скорости течений на акустических галсах, равнялись 10 см/с. Максимальные скорости достигали 60 см/с и были приурочены к областям взаимодействия циклонических и антициклонических вихрей.

Установлено, что 97% биомассы криля, обнаруженной на акватории съемки, приурочено к аномалиям уровня, заключенным в пределах от -5 см до +5 см (рис. 5).

Большая часть скоплений во время съемки KSS-2000 была приурочена к положительным аномалиям уровня, в частности, к антициклоническим вихрям. Средняя величина аномалий уровня океана в центрах мезомасштабных вихрей составляет 12 см, однако в различных районах съемки изменяется в широких пределах. Например, в центрах антициклонических вихрей в районе распространения ВФЗ она может достигать 25 см, а для северной части АПВ превышать 40 см. В связи с этим пики по биомассе криля в диапазоне 0 ± 5 см указывают на то, что наиболее плотные скопления находились вне центров циклонических или антициклонических вихрей. Наиболее вероятная область обнаружения промыслового скопления – периферия вихря, участок с наибольшими скоростями течений (рис. 6).

В Заключение представлены основные выводы исследования.

ВЫВОДЫ

1. Разработана классификация поля абсолютной динамической топографии для Антарктической части Атлантики с выделением 5 классов, различающихся по характеру изменчивости среднегодовых значений динамической топографии. В области выделенных классов распространяются: воды северной периферии моря Уэдделла (класс Ia), в пределах класса Ib располагается вторичная фронтальная зона (ВФЗ), класс IIa лежит в районе распространения субантарктической поверхностной водной массы (САПВ). Класс IIb можно интерпретировать как область

южной полярной фронтальной зоной (ЮПФЗ). К классу Пв приурочены воды северной части антарктической поверхностной водной массы (АПВ).

2. В море Скотия выявлено незначительное преобладание циклонов (51 %) над антициклонами (49 %). Средний радиус циклонов составил 57 км. Половина (52%) от общего числа циклонов имеют радиус в пределах 50–80 км. В редких случаях (1%) отмечаются циклоны с радиусом от 120 до 140 км. Амплитуда циклонов в среднем составляет 7 см. Средняя скорость вращения составляет 14 см/с.

Анализ среднемноголетнего внутригодового хода на реперных точках в центральной части моря Скотия, районах Ю. Сандвичевых островов и о. Ю. Георгия показал, что с марта по июнь происходит падение значений аномалий уровня океана (АУО). С июля по сентябрь значения АУО повышаются, затем усиливается циклоническая активность в сентябре - ноябре и с декабря по февраль отмечается рост АУО.

3. В районе северной периферии моря Уэдделла (класс Ia) отмечаются наиболее слабые течения со средней скоростью 3,7 см/с, преобладают направления восточных и северных румбов. В пределах класса Ib (ВФЗ) чаще всего наблюдаются скорости от 0 до 20 см/с (68%), 10-25 см/с - 25%, средние скорости течений составляет 8,7 см/с. Характерное направление - восточное. Для САПВ (класс IIa) средняя скорость течения составляет 15 см/с. В районе ЮПФЗ (класс IIb) наблюдаются максимальные скорости течения до 140 см/с. Средняя скорость составляет 25 см/с. Течения наблюдаемые на севере АПВ (класс Пв) имеют восточные, северо-восточные направления со скоростями до 20 см/с (66%).

Посредством спектрального анализа выделены следующие периоды изменения скорости течения: полугодовой, 1,5-летний, 4-летний.

4. Сопоставление данных спутниковой альтиметрии и прямых измерений показало, что альтиметрия достоверно отражает пространственные особенности поля течений, зоны их интенсификации и ослабления, а также мезомасштабные вихри и фронтальные зоны. Установлена высокая взаимосвязь зональной и меридиональной составляющих вектора скорости, полученных по данным прямых наблюдений и спутниковой альтиметрии, коэффициент корреляции 0,7. Скорости течения, рассчитанные по спутниковой альтиметрии, в среднем занижены на 56% относительно данных ADCP на гидрологическом разрезе через АчА.

5. Наиболее плотные скопления криля в море Скотия формируются в зонах мезомасштабных неоднородностей поля скоростей течений. Чаще всего они формируются на их периферии, в области высоких скоростей. Полученные результаты позволяют прогнозировать области повышенной концентрации крилевых скоплений в традиционных и океанических

районах промысла на основе особенностей мезомасштабной динамика вод, установленных по альтиметрическим данным.

6. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации экспедиционных работ при планировании и выполнении будущих комплексных съемок биомассы криля в АЧА, подобных KSS-2000.

В дальнейшем необходимо более глубокое изучение закономерностей распределения криля в АЧА по альтиметрическим измерениям путем оценки вклада атмосферных процессов в межгодовые изменения мезомасштабной динамики вод. А также привлечение данных поверхностных дрейфующих буев для уточнения возможных траекторий транспорта пассивных планктеров.

Список публикаций по теме диссертации

В изданиях, рекомендованных ВАК:

1. **Чурин Д.А.**, Бородин Е.В., Чернышков П.П. Научное обеспечение возобновления российского промысла в Антарктической част Атлантики и южной части Тихого океана // Рыбное хозяйство. Вып. 5. 2014. С. 8-13.

2. Бородин Е.В., **Чурин Д.А.**, Чернышков П.П. Влияние динамики вод на биомассу и распределение биологических ресурсов пелагиали южных частей Атлантического и Тихого океанов // Вестник БФУ им. И. Канта. Вып. 7: Естественные науки. – Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2014. С. 142-154.

В других изданиях:

3. **Чурин Д.А.** Океанологические условия западной части Атлантического сектора Антарктики во время проведения «Krill Synoptic Survey-2000» // Дни науки – 2010. Вып. 6: Естественные науки: матер. науч.-практ. конф. студ. и асп. – Калининград: Изд-во РГУ им.Канта, 2010. С. 94-96.

4. Бородин Е.В., Скляр М.Б., **Чурин Д.А.** Исследование биологических ресурсов Мирового океана на основе новых видов информации и современных информационных технологий в условиях климатических изменений // Шаг в науку. Вып. 2: Естественные науки: сб. научных статей молодых ученых. – Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2011. С. 42-54.

5. **Чурин Д.А.** Мезомасштабная динамика вод в море Скотия и ее влияние на распределение промысловых скоплений антарктического криля // Материалы XV Конференции по промысловой океанологии, посвященной 150-летию со дня рождения академика Н.М. Книповича. – Калининград: Изд-во АтлантНИРО, 2011. С. 250-252.

6. Чернышков П.П., Амиров Ф.О., Бородин Е.В., Скляр М.Б., **Чурин Д.А.** Исследование биологических ресурсов мирового океана в условиях климатических изменений на основе современных информационных технологий // География XXI века: сборник научных трудов, посвященный 40-летию факультета географии и геоэкологии БФУ им. И. Канта. – Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2012. С. 62-73.

7. **Чурин Д.А.** Мезомасштабные вихри как фактор формирования промысловых скоплений антарктического криля (*Euphausia superba*) в Атлантической части Антарктики // Международная научно-практическая конференция «Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоёмов». – Калининград: Изд-во КГТУ, 2013. С. 135-138.

8. Е.Г. Морозов, Т.А. Демидова, К.С. Григоренко, А.М. Гриценко, А.О., Заячковский, Н.И. Макаренко, Р.Ю. Тараканов, М.О. Ульянова, **Д.А. Чурин.** Измерения придонных течений в подводных каналах Атлантики в 36-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Сергей Вавилов». Океанология, Том 53, №6. 2013. С. 851-853.

9. **Чурин Д.А.,** Чернышков П.П. Мезомасштабная динамика и классификация вод в Атлантической части Антарктики // Вопросы промысловой океанологии. Вып. 10. – Москва: Изд-во ВНИРО, 2013. С. 140-150.

10. **Churin D.,** Kasatkina S., Chernyshkov P. Mesoscale dynamics of Antarctic waters of the Atlantic as a factor for formation of Antarctic krill agglomerations in conventional fishing grounds in the Scotia Sea - ICES CM 2013/B: 85.

Чурин Дмитрий Александрович

МЕЗОМАСШТАБНАЯ ДИНАМИКА ВОД В АНТАРКТИЧЕСКОЙ
ЧАСТИ АТЛАНТИКИ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КРИЛЯ

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Подписано в печать _____. Формат 60×90 1/16
Бумага для множительных аппаратов. Ризограф. Усл. печ. л. 1,3.
Уч.- изд. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ ____

Отпечатано в типографии
издательства Балтийского федерального университета им. И. Канта,
236022, г. Калининград, ул. Гайдара, 6