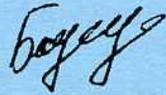


На правах рукописи



**Бородин Евгений Владимирович**

**СТРУКТУРА И ДИНАМИКА ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ВОДНЫХ МАСС  
АНТАРКТИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ЮЖНОЙ ЧАСТИ  
ТИХОГО ОКЕАНА**

**Специальность 25.00.28 – океанология**

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

**Калининград – 2015**

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

**Научный  
руководитель:**

**Чернышков Павел Петрович**  
доктор географических наук, профессор

**Официальные  
оппоненты:**

**Малинин Валерий Николаевич**  
доктор географических наук, профессор, академик  
РАЕН  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский государственный гидрометеорологический университет», кафедра промышленной океанологии, профессор

**Данилов Александр Иванович**  
кандидат физико-математических наук  
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», заместитель директора по научной работе

**Ведущая организация**

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»

Защита диссертации состоится 11 декабря 2015 г. в 16:00 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 профессионального образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» по адресу: 236022, г. Калининград, ул. Зоологическая 2, ауд. 304 (актовый зал), e-mail: ecogeography@rambler.ru. С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке (ул. Университетская 2) и на официальном сайте ФГОУ ВПО «БФУ им. И. Канта» (<http://www.kantiana.ru/postgraduate/dis-list/159372/>).

Автореферат разослан « 8 » октября 2015 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат географических наук

Г.М. Баринава

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Акватория южной части Тихого океана (ЮТО) – наиболее продуктивный район Мирового океана. Начатые в 1978 г. промыслово-океанологические исследования здесь продолжались до 1991 г. и были остановлены из-за финансово-экономических проблем рыболовной отрасли СССР. За 13 лет научных и промысловых работ, в области, ограниченной 20-45° ю.ш., 70-180° з.д., было выловлено более 13 млн. т. тихоокеанской ставриды (*Trachurus murphyi* Nicols, 1920). За такое промысловое богатство район получил название «ставридный пояс».

Благоприятная промысловая обстановка, в период промысла с 1978 по 1991 гг., была обусловлена стабильной кормовой базой для рыбы, основу которой составляет планктон. Развитию кормовой базы в океанической части ЮТО способствует промежуточная водная масса Антарктического происхождения (АПрВ), которая образуется из поверхностной водной массы при ее опускании в районе южного полярного фронта. Проникая в южную часть Тихого океана, антарктическая вода переносит биогенные элементы, которые не ассимилируются в зоне Антарктики из-за недостаточной освещенности. Поступая в верхний фотический слой, она формирует основу высокой продуктивности вод. В свою очередь, это может сказываться на изменении общей биологической продуктивности вод и биомассе тихоокеанской ставриды, что важно для оценки промысловых запасов ставриды.

**Степень разработанности проблемы.** Изучению промежуточной водной массы антарктического происхождения посвящена работа М.Н. Кошлякова и Р.Ю. Тараканова (2005), в которой дается описание распределения АПрВ на акватории юга Тихого океана. В серии работ С.В. Голивец и М.Н. Кошлякова (2003, 2004) показано, что формирование АПрВ, отчасти, происходит за счет вихрей, отделившихся от субантарктического фронта (САФ). Сформулирована математическая модель, для которой проводится оценка изменения солёности АПрВ вследствие отделения циклонических вихрей от САФ. Изучению состояния промежуточной волной массы также посвящены работы зарубежных авторов (Iudicone et al., 2007; Corinne et al., 2011). В них подробно описана структура и формирование водной массы, однако межгодовая изменчивость ее параметров и положения в пространстве не рассматривались.

**Цель данной работы:** выяснить закономерности структуры и особенностей межгодовой изменчивости пространственного положения промежуточной водной массы антарктического происхождения в южной части Тихого океана.

**Задачи исследования:** 1) описать пространственное положение АПрВ в толще юга Тихого океана на основе *T,S*-данных, полученных с помощью проекта Argo; 2) провести анализ пространственно-временных из-

Москва 107140

В. Красносельская 17  
ВНИРО

Библиотека

менений температуры и солености промежуточной водной массы в разных частях ЮТО на основе кластерного анализа; 3) охарактеризовать пространственно-временную изменчивость океанических вихрей как локального фактора переноса антарктической воды.

**Объект исследования** – промежуточный слой вод Антарктического происхождения в южной части Тихого океана.

**Предмет исследования** – закономерности формирования и межгодовых изменений термохалинных характеристик промежуточной водной массы антарктического происхождения в ЮТО.

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

1) Классификация вертикальных разрезов по термохалинным данным, полученным с помощью проекта Argo, свидетельствует о том, что глубины верхней и нижней границ промежуточной водной массы антарктического происхождения изменяются одновременно на всей акватории южной части Тихого океана и при этом независимо друг от друга.

2) Закономерности пространственно-временной изменчивости термохалинных характеристик слоя промежуточной водной массы антарктического происхождения в южной части Тихого океана говорят о том, что соленость на верхней границе АПрВ в южной части Тихого океана является индикатором обновления данной водной массы.

3) Перенос антарктической воды в субтропическую часть юга Тихого океана циклоническими вихрями субантарктического фронта статистически зависит от первой главной компоненты поля атмосферного давления на уровне моря.

**Научная новизна.** Промежуточная водная масса антарктического происхождения в южной части Тихого океана рассматривается как физический объект, обладающий границами, изменяющимися в пространстве. Впервые показано наличие межгодовой изменчивости верхней и нижней границ АПрВ и определены масштабы межгодовых изменений их глубин залегания.

Характер межгодовой изменчивости термохалинных характеристик на верхней и нижней границах, а также в ядре АПрВ на юге Тихого океана говорит о том, что изменчивость температуры на верхней и нижней границах прямо пропорциональна изменчивости глубины залегания этих границ. Впервые показано, что межгодовая изменчивость солености на верхней границе АПрВ восточной части района является индикатором обновления слоя антарктических вод. Впервые установлено наличие разнонаправленных трендов температуры и солености в ядре АПрВ.

Впервые выявлена пространственно-временная изменчивость количества и параметров вихрей, локализующихся к северу от субантарктического фронта в пределах области Антарктического циркумполярного течения (АЦТ). Показано, что циклонические вихри, подвержены влиянию первой главной компоненты атмосферного давления на уровне моря.

**Методическая основа** исследования: методы одномерного и многомерного статистического анализа (корреляционные анализы, кластерный анализ, метод главных компонент). Для их применения использовались программы Statistica и IBM SPSS Statistics.

**Теоретическую основу** исследования составили классические труды, посвященные проблемам выделения водных масс и описания их характеристик. В частности, труды А.Д. Добровольского (1961), Н. Stommel (1961), О.И. Мамаева (1987) по применению в исследовании водных масс *T,S*-анализа. Также работа В.И. Кукса (1983), посвященная изучению промежуточных вод Мирового океана.

**Эмпирическая основа** исследования:

– результаты проекта Argo – измерения CTD характеристик до глубины 2000 м;

– результаты проекта AVISO – измерение абсолютной динамической топографии поверхности океана;

– данные спутниковых измерений температуры поверхности океана (IGOSS) и атмосферного давления на уровне моря (NCEP-NCAR);

– массив Mesoscale eddies in Altimeter Observations of SSH (массив Челтона), созданный в рамках глобального исследования нелинейных мезомасштабных вихрей (Chelton et al., 2011).

**Теоретическая значимость результатов** состоит в изучении промежуточной водной массы антарктического происхождения как единого объекта, локализованного в пространстве и изменении подхода к ее изучению.

**Практическая значимость результатов:** изучение временной изменчивости количества и параметров вихрей, перемещающихся в пределах акватории ЮТО, позволяет определять периоды их наибольшей интенсивности и соответственно прогнозировать изменение биологической продуктивности на локальных участках. Мониторинг изменения солености на верхней границе АПрВ на востоке района позволяет определять периоды усиления или ослабления проникновения антарктической воды в южную часть Тихого океана и прогнозировать изменение биологической продуктивности данного района.

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности.** Выполненное исследование соответствует паспорту специальности 25.00.28 (океанология) в области исследования процессов формирования водных масс, их пространственно-временной структуры, гидрофизических полей Мирового океана.

Изложенные положения и выводы не противоречат классическим представлениям о вертикальной структуре промежуточной водной массы антарктического происхождения и проливают свет на специфику ее изменений в южной части Тихого океана, что подтверждает **достоверность полученных результатов.**

**Апробация работы.** Основные разделы диссертации докладывались на коллоквиумах, методических и ученых советах, годовых отчетах Атлантического научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (Калининград, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014), на конференциях Балтийского федерального университета имени Иммануила Канта (Калининград, 2010, 2011), Санкт-Петербургского государственного университета (Санкт-Петербург, 2012), на I и II конференциях Калининградского отделения Русского географического общества (Калининград, 2012, 2014). Основные положения работы представлялись на XV, XVI конференциях по промысловой океанологии (Калининград, 2011, 2014), на конференции ICES (Рейкьявик, 2013).

По результатам исследования опубликовано 17 научных работ в журналах, сборниках научных статей, материалах Российских и Международных научно-практических конференций, из них пять статей – в изданиях, рекомендованных ВАК общим объемом 3,8 печатных листов. В публикациях изложены основные результаты.

**Личный вклад автора** состоит в обобщении и архивировании информации за период с 2004 по 2013 гг., формировании выборок, разработке узкофункционального программного обеспечения для анализа, проведении статистических расчетов, выполнении графических построений, развернутом анализе результатов, их апробации – подготовке публикаций и выступлениях на научных конференциях.

**Структура диссертации.** Работа изложена на 120 страницах, включает 4 главы, 44 рисунка, 8 таблиц, 122 источника литературы, в том числе 44 на иностранных языках.

**Благодарности.** Автор выражает особую благодарность своему научному руководителю, д.г.н., заслуженному работнику рыбного хозяйства Российской Федерации, профессору П.П. Чернышкову; сотрудникам АтлантНИРО: С.Ю. Гулюгину, О.Ю. Краснобородько, С.К. Кудерскому, А.А. Нестерову, Е.Н. Тимохину, С.Е. Алексееву; д.ф.-м.н., профессору БФУ им. Канта В.А. Гриценко и к.г.н., доценту РГГМУ С.М. Гордеевой за конструктивную критику.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** отражены актуальность темы исследования и степень разработанности проблемы. Сформулированы цель, задачи и защищаемые положения. Обозначены объект и предмет исследования. Показана научная новизна. Изложены методология исследования.

**В первой главе** дано физико-географическое и промыслово-океанологическое описание южной части Тихого океана.

Раздел 1.1 посвящен описанию гидрометеорологических условий акватории юга Тихого океана. Район попадает под влияние следующих кли-

матических поясов: субэкваториальный, тропический, субтропический и умеренный. Субэкваториальный пояс характеризуется ярко выраженной сезонностью. В тропическом поясе располагаются устойчивые области высокого давления и дивергенции воздушных потоков, в пределах которых в течение всего года формируется теплый и влажный тропический воздух. В субтропическом поясе летом преобладает антициклоническая циркуляция в теплом и влажном морском тропическом воздухе, а зимой – циклоническая циркуляция с частыми вторжениями значительно более холодного морского умеренного воздуха. Умеренный пояс характеризуется интенсивной циклонической деятельностью, особенно зимой, и высокой повторяемостью пасмурного неба.

Основной закономерностью атмосферной циркуляции над акваторией района является наличие отчетливо выраженного максимума давления – Южно-Тихоокеанского Антициклона (ЮТА), центр которого отмечается вблизи точки с координатами 32° ю.ш. и 95° з.д.

Влияние атмосферной циркуляции непосредственно на гидрологический режим ЮТО, можно характеризовать несколькими процессами. Во-первых, это наличие западного переноса от которого зависит интенсивность АЦТ и, соответственно, интенсивность вихрей в нем. Во-вторых, это пассатная циркуляция у побережья Южной Америки, вызываемая изменениями в давлении над побережьем и центре ЮТА.

Для исследования пространственно-временной изменчивости атмосферной циркуляции применялся метод ГК. Первая ГК содержит в себе 30 % общей дисперсии и, согласно распределению нагрузки, отображает изменчивость в области высокого давления в субтропиках, к северу от 30° ю.ш., и обратную изменчивость в Субантарктической депрессии, к югу от 60° ю.ш. Вторая ГК описывает 17 % дисперсии и отображает ход давления на 45° ю.ш. и его обратный ход перед проливом Дрейка, а также в тропической части, она представляет собой меридиональный перенос. Третья ГК описывает 14 % дисперсии и отображает обратную изменчивость поля давления в центральной части района, она в большей степени связана с зональным переносом.

Для исследования межгодовой изменчивости ТПО применялся метод кластерного анализа с целью разделения района на подрайоны. Поиск статистической связи между рядами четырех классов показал наличие парной связи между первым-вторым классами ( $r = 0,77$ ) и третьим-четвертым ( $r = 0,89$ ). Кросскорреляция между рядами первых ГК поля давления и ТПО показала наличие высокой связи ( $r = 0,8$ ) с отрицательным лагом температуры величиной 3 месяца.

Раздел 1.2 посвящен описанию океанологических условий южной части Тихого океана. Его циркуляцию можно охарактеризовать как антициклоническую. Ее основные течения вовлечены в южный субтропический круговорот Тихого океана (Перуанское течение, Южное пассатное тече-

ние, Восточно-Австралийское течение, Южно-Тихоокеанское течение). Необходимо сказать, что Антарктическое циркумполярное течение в определенной мере влияет на южную часть ЮТО. У пролива Дрейка от АЦТ отделяется ветвь, которая уходит на север, вдоль западного побережья Южной Америки, и продолжается в виде Перуанского течения.

Главными океаническими фронтами района ЮТО являются южный субтропический и субантарктический фронты. САФ – область формирования повышенной продуктивности района, по нескольким причинам: во-первых, это область смешивания субтропических и субантарктических вод; во-вторых, здесь многочисленны вихри разного знака, которые обеспечивают как подъем, так и опускание вод.

Промежуточные водные массы акватории формируются к северу от южного полярного фронта. Основное внимание в работе уделено АПрВ, которая занимает верхний слой океана в южной полярной фронтальной зоне (ЮПФЗ) между САФ на севере и южным полярным фронтом на юге. В ЮПФЗ промежуточная водная масса антарктического происхождения формируется в результате трансформации поверхностных водных масс, поступающих в поле направленного на север потока чисто дрейфового течения, вследствие существенного превышения осадков над испарением в этой зоне океана.

Раздел 1.3 посвящен описанию факторов, влияющих на продуктивность ЮТО.

Формирование кормовой базы района происходит за счет совокупности нескольких факторов:

1) Богатая биогенными элементами антарктическая поверхностная вода проникает в ЮТО вместе с вихрями, отделившимися от субантарктического фронта, а также вследствие изопикнического опускания более плотных антарктических вод.

2) Под воздействием крупномасштабных круговоротов, наличие которых показано в работе (Кошляков, Тараканов, 2005), антарктическая вода распределяется по ЮТО. Кроме того, по одной из гипотез, под их воздействием формируются основные ячейки запаса, в которых происходит формирование промысловых сообществ.

3) Поднимаясь с глубины под воздействием замкнутых вихрей, биогенные элементы попадают в верхний фотический слой, где и происходит развитие планктонных организмов.

Раздел 1.4 содержит краткое историческое описание освоения района ЮТО. Его крупномасштабное изучение началось в июне 1978 г. Основанием для организации экспедиции послужили сообщения китобоев об обнаружении в желудках кашалотов крупных экземпляров ставриды вдали от берега.

На начальном этапе изучения (1978-1980 гг.) исследовалась преимущественно восточная часть района, в частности, области около исключи-

тельных экономических зон Перу и Чили. Были обследованы 12 подводных гор хребтов Наска и Сала-и-Гомес, над 6 из которых были обнаружены промысловые скопления ставриды и берикса.

На следующем этапе с 1981 по 1985 гг. район исследований был расширен до 140° з.д., где повсеместно были обнаружены промысловые скопления нерестовой и нагульной ставриды, однако исследование областей около ИЭЗ Перу и Чили не прекратилось.

Начиная с 1986 по 1990 гг. район расширился и к концу 1990 г. уже охватывал территорию вплоть до 180° з.д. Период после 1991 г. – заключительный, так как после этого промысел был свернут и к 2015 г. все еще не восстановлен.

**В главе 2** описаны источники данных и методы, используемые для достижения цели.

Раздел 2.1 посвящен описанию источников данных: результаты проекта Argo – измерения СТД характеристик до глубины 2000 м; результаты проекта AVISO – измерение абсолютной динамической топографии поверхности океана; данные спутниковых измерений температуры поверхности океана (IGOSS) и атмосферного давления на уровне моря (NCEP-NCAR); массив Mesoscale eddies in Altimeter Observations of SSH (массив Челтона), содержащий еженедельную информацию об океанических вихрях.

В разделе 2.2 описаны методы анализа натуральных данных с использованием коэффициентов корреляции Пирсона и Спирмена; Фурье-анализ; критерий Стьюдента для проверки равенства выборочных средних; методы главных компонент и кластерный анализ.

**Глава 3** посвящена изучению среднесезонной структуры ЮТО и ее межгодовой изменчивости. Рассматривается пространственно-временная изменчивость вихрей акватории ЮТО.

В разделе 3.1 с помощью кластерного анализа изучается среднесезонная вертикальная структура промежуточной водной массы, а также ее межгодовая изменчивость.

Для анализа среднесезонной вертикальной структуры АПрВ и других водных масс южной части Тихого океана была сформирована выборка среднемесячных значений температуры и солёности за период с 2004 по 2013 гг. с пространственным ограничением 32,5-61,5° ю.ш., 88,5-170,5° з.д., дискретностью 1 градус. Исследовался слой 0-2000 м разбитый на 58 горизонтов. Осреднение по годам проводилось в каждой точке используемой выборки. Такой объем данных не позволяет применить объемный кластерный анализ, который был бы более целесообразен. По этой причине было принято решение ограничиться тремя разрезами, расположенными таким образом, чтобы можно было адекватно оценить распределение водных масс по акватории. Разрезы были проведены по долготам: 88,5, 130,5, 170,5° з.д. (Рисунок 1).

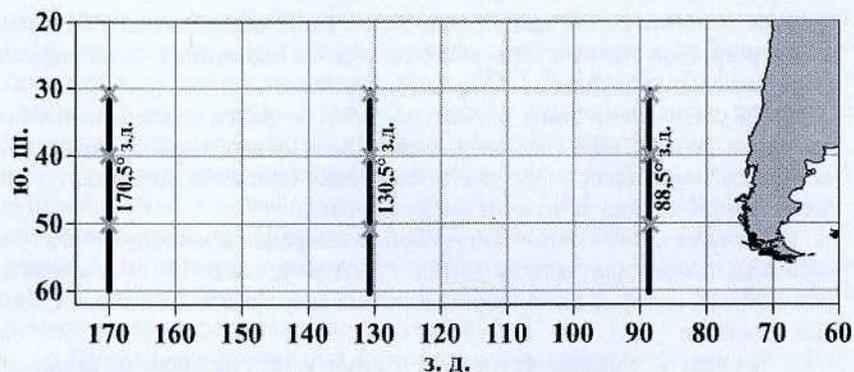


Рисунок 1 – Схема пространственного положения изучаемых разрезов

При кластерном анализе иерархическая классификация производилась методом Уорда, в качестве дистанции объединения использовалась евклидова метрика, объектами классификации выступали точки в пространстве разреза, а признаками выступали среднегодовые значения температуры и солёности. Предварительно выполнялась статистическая стандартизация данных по температуре и солёности относительно всего пространства выборки.

Согласно известной классификации О.И. Мамаева (1987), в пределах изучаемых горизонтов ЮТО присутствуют следующие водные массы: субтропическая тропосферная вода (СТВМ), антарктическая поверхностная и промежуточные воды (ПрВМ) и глубинная водная масса (ГлВМ). Тропосферные воды располагаются в приповерхностных слоях океана на глубинах от 100 до 500-900 м. Промежуточные воды представляют собой границу между тропосферой и стратосферой океана и располагаются на глубинах от 600-800 м в восточной части ЮТО и до 1200 м в западной части. ГлВМ занимает наибольший объем в Мировом океане и имеет минимальную изменчивость температуры и солёности.

С учетом древа классов (Рисунок 2) выделяются два главных иерархических уровня. Один из них – субтропическая водная масса. В другой уровень объединяются промежуточная и глубинная водные массы. При этом промежуточная разбита на две водные массы: антарктическую (АПрВ) и субантарктическую (САПрВ) промежуточные водные массы.

Из вертикального распределения водных масс на меридиональных разрезах (Рисунок 3) видно, что наименьший объем среди них занимает СТВМ. В восточной части она располагается к северу от 44° ю.ш. В центральной части ее нижняя граница располагается на глубине 300 м, в то время как в восточной она повышается до 200 м. Центры СТВМ расположены на глубине 100 м и 34-35° ю.ш. в восточной и центральной частях ЮТО. В западной части ЮТО центр СТВМ смещен до 50° ю.ш. и распо-

ложен на глубине 30 м. Это свидетельствует о том, что в данной части океана на юг выходят теплые и соленые субтропические воды.

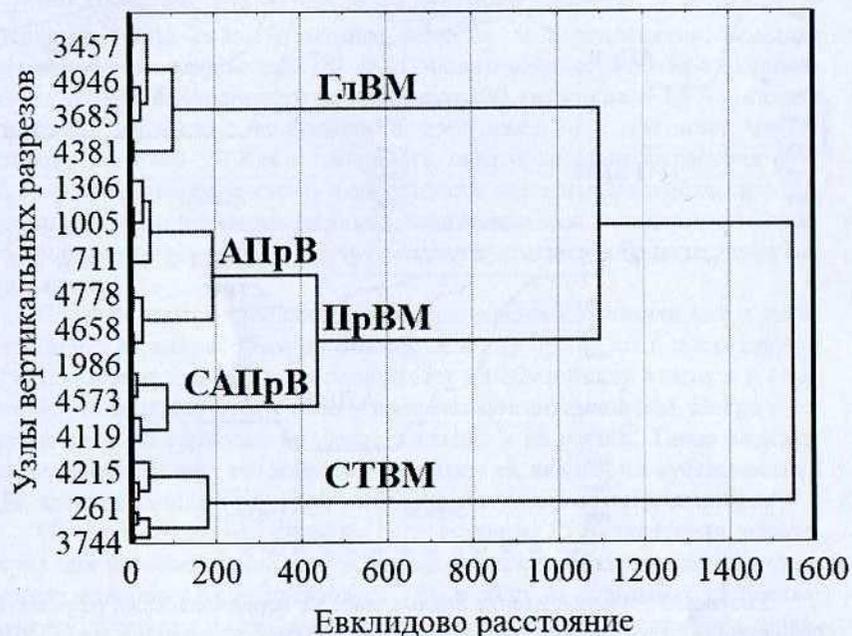


Рисунок 2 – Дендрограмма классов среднегодовых значений температуры и солёности в слое 0-2000 м для трех разрезов ЮТО

АПрВ занимает наибольшую площадь на поверхности в восточной части ЮТО, распространяясь от 50 до 60° ю.ш. (Рисунок 3). В западной части она занимает полосу шириной 4 градуса, в центральной – 2 градуса. Верхняя граница АПрВ по глубине совпадает с нижней границей САПрВ. Ее нижняя граница опускается от 850 м в восточной части ЮТО до 1300 м в западной части района. Центр АПрВ находится на широте 51° ю.ш. в западной и центральной частях на глубинах 600 и 500 м соответственно. В восточной части ЮТО центр АПрВ смещен на юг до 39° ю.ш. и находится на глубине 500 м.

Глубина залегания нижней границы АПрВ в период с 2004 по 2013 гг. изменялась от 700 до 1200 м в восточной части ЮТО и до 1100-1400 м в западной части ЮТО. Верхняя граница АПрВ на разрезе 88,5° з.д. имеет наклонное положение и поднимается до максимальной глубины 500 м. В западной части ЮТО (разрезы 130,5° и 170,5° з.д.) верхняя граница проходит параллельно дну и располагается на глубинах 500-700 и 800-900 м. Верхняя граница АПрВ соответствует нижней границе САПрВ. Макси-

мальная глубина верхней границы САПрВ увеличивается с запада на восток от 200 до 500 м.

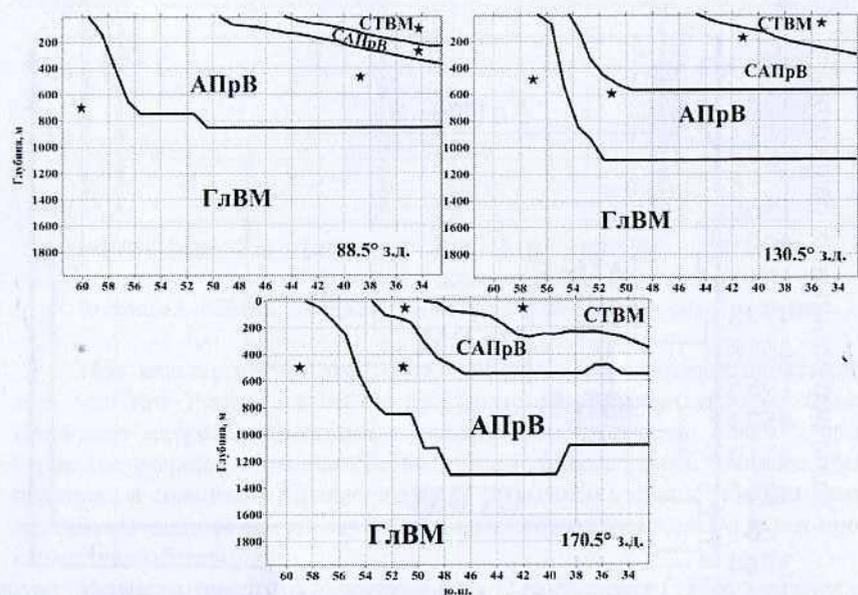


Рисунок 3 – Распределение водных масс на меридиональных разрезах по среднесовокупным данным; звезды – местоположение ядер водных масс; ГлВМ – глубинная водная масса; АПрВ – промежуточная водная масса антарктического происхождения; САПрВ – субантарктическая промежуточная водная масса; СТВМ – субтропическая поверхностная водная масса

В результате анализа пространственной изменчивости положения границ водных масс выявлено, что на разрезе 88,5° з.д. отмечается синхронное изменение обеих границ водных масс. На разрезах 130,5 и 170,5° з.д. такой синхронности не наблюдается – при заглублении границы между СТВМ и САПрВ может происходить подъем границы между АПрВ и ГлВМ. Другой особенностью является зависимость амплитуды изменения положения границ между водными массами от глубины на разрезах 88,5 и 130,5° з.д.: чем глубже залегает водная масса, тем больше амплитуда изменения ее границ.

В Разделе 3.2 приведен анализ распределения основных параметров и межгодовой изменчивости вихрей на акватории ЮТО.

На основании информации о вихрях, выделенных для акватории 20-65° ю.ш. и 75-180° з.д., выборка из общей базы показала, что на акватории ЮТО в период с 1993 по 2010 гг. зафиксировано 37 632, в преобладающем большинстве нелинейных вихря (90 % от общего количества вихрей). Для

рассмотрения способности вихря переносить жидкость, был выбран адвективный параметр нелинейности, который заключается в соотношении скорости вращения вихря и скорости его передвижения. Если нелинейность вихря  $\geq 1$ , жидкость внутри вихря находится «в ловушке» и вихрь может переносить тепло, соль, биогенные вещества и фитопланктон. Большая часть внетропических вихрей (81 % от общего количества) слабо нелинейны – их индекс нелинейности не превышает 20, оставшиеся 19 % – сильно нелинейны, их индекс нелинейности превышает 30 и достигает максимального значения 50. Как и ожидалось, акватория распространения вихрей с наибольшим параметром нелинейности расположена в области АЦТ. В целом циклонические вихри более нелинейны, чем антициклонические. Это объясняется тем, что скорость вращения у циклонов больше, чем у антициклонов.

Сделаем вывод о зональности распределения циклонических и антициклонических вихрей. Так, на акватории к югу от 45° ю.ш. и к северу от 25° ю.ш. количественно явно преобладают циклонические вихри, а к северу от 45° ю.ш. и югу от 25° ю.ш. – преобладают антициклоны. Вихри к северу от 45° ю.ш. движутся на запад, а южнее – на восток. Такое разнонаправленное движение объясняется наличием на акватории субантарктики АЦТ, которое увлекает за собой океанические мезомасштабные вихри.

По распределению основных параметров на 85 % акватории локализуются как циклонические, так и антициклонические вихри, амплитуда и скорость вращения их не превышает 3 см и лишь на остальных 15 % акватории наблюдаются вихри, амплитуда которых превышает средние значения. Увеличение радиуса вихрей происходит при движении от полюсов к экватору.

Глава 4 посвящена изучению межгодовой изменчивости АПрВ в южной части Тихого океана.

В разделе 4.1 представлены изменения температуры и солёности в ядре АПрВ в ЮТО (Рисунок 4).

В восточной части (положение ядра: 39° ю.ш., 500 м.) параметры температуры и солёности в ядре АПрВ имеют разные направления трендов (положительный тренд для температуры и отрицательный – для солёности). В центральной (51° ю.ш., 600 м) и западной (51° ю.ш., 500 м) частях ЮТО знаки трендов температуры и солёности совпадают (в центральной – тренды убывают, в западной – возрастают). Разнонаправленный характер трендов в восточной части ЮТО, скорее всего, объясняется постоянным затокном пресных вод с юга. Положительное значение тренда на графике температуры говорит о наличии теплообмена с вышележащими слоями.

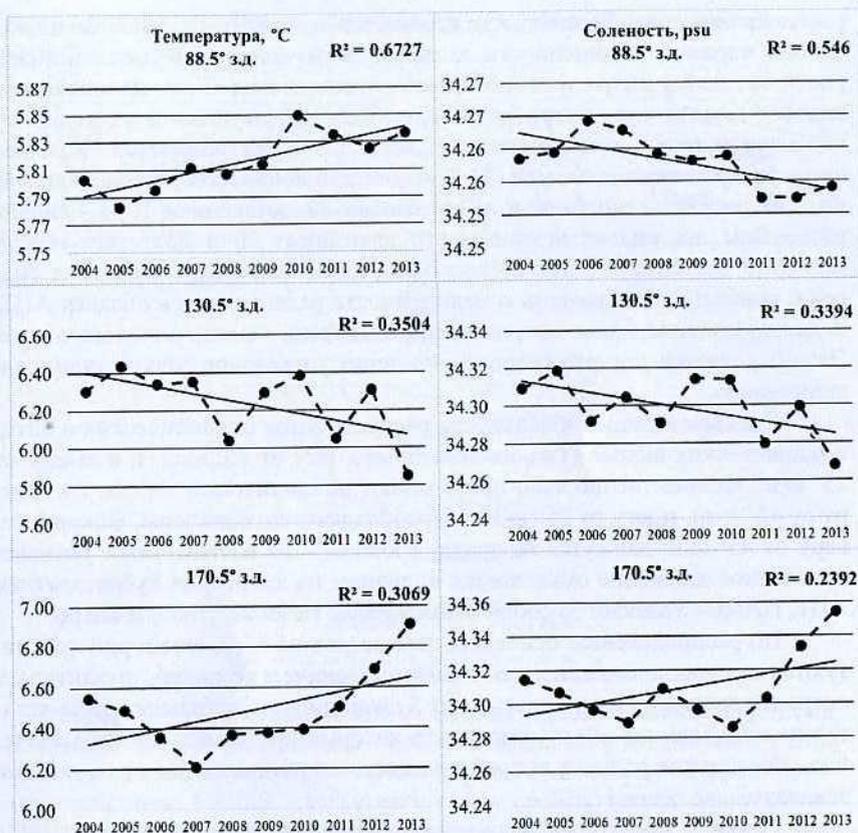


Рисунок 4 – Графики межгодовой изменчивости температуры и солёности в ядре АПрВ в восточной (88,5° з.д.), центральной (130,5° з.д.) и западной (170,5° з.д.) частях ЮТО

Следует указать на разницу величин стандартного отклонения (СТО)  $T, S$ -параметров между различными разрезами. Величина СТО для температуры в восточной части ЮТО составляет 0,02°C, в то время как в центральной и западной частях она достигает значений 0,19 и 0,20°C соответственно. Величина СТО для солёности в восточной части составляет 0,004 psu, в то время как в центральной и западной частях она достигает значений 0,016 и 0,02 psu соответственно. В центральной и западной частях параметры температуры и солёности подвержены в 10 раз большей изменчивости по сравнению с восточным разрезом.

Раздел 4.2 посвящен изучению межгодовой изменчивости температуры и солёности на верхней и нижней границах АПрВ в ЮТО (Рисунок 5).

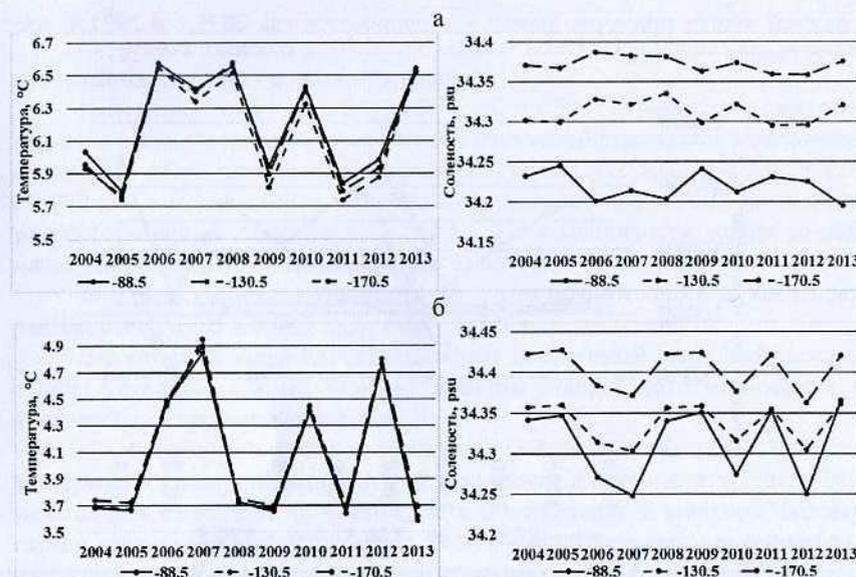


Рисунок 5 – Межгодовая изменчивость температуры и солёности на верхней (а) и нижней (б) границах АПрВ

Коэффициенты корреляции Спирмена между рядами температуры и глубины залеганий нижней и верхней границ достигали значений 1. Следовательно изменение температуры на нижней и верхней границах прямо пропорциональны изменению глубины залегания этих границ. Изменчивость солёности на нижней границе АПрВ обратно пропорциональна глубине, поскольку при заглублении солёность соответственно возрастает. Такое же явление наблюдается на верхней границе АПрВ в восточной части ЮТО, однако это объясняется выносом пресных антарктических вод в субтропические воды.

В разделе 4.3 охарактеризована межгодовая изменчивость суммарной толщины (далее толщина) АПрВ на трех разрезах ЮТО, рассчитанная как сумма разностей глубин залегания нижней и верхней границ АПрВ для каждой широты меридионального разреза, в метрах.

Другая особенность – отсутствие тренда (максимальный среди всех рядов  $R^2 = 0,0018$ ) на графиках (Рисунок 6). Поскольку разрезы равномерно покрывают акваторию ЮТО и между рядами имеет место синхронная изменчивость, то отсутствие тренда означает постоянство толщин АПрВ на всей акватории ЮТО. Из графиков видно, что максимальная толщина АПрВ в восточной части ЮТО. В западной и центральной частях толщина примерно одинакова. Наибольшей изменчивости подвержена толщина восточной части ЮТО (СТО = 3649,1). Величины СТО в центральной и за-

падной частях примерно равны и оцениваются как 2899,1 и 2921,4, соответственно.

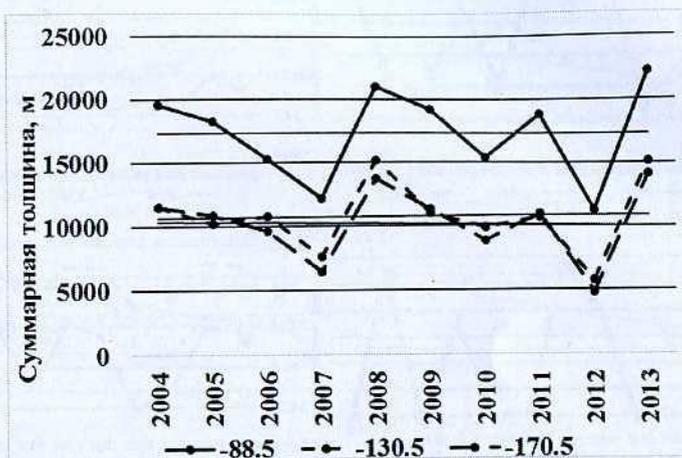


Рисунок 6 – Межгодовая изменчивость толщин АПрВ на трех меридиональных разрезах ЮТО; тонкие черные линии – линии тренда

В заключении представлены основные выводы исследования.

## ВЫВОДЫ

1. В результате изучения пространственных характеристик водных масс в толще ЮТО выделены: субтропическая поверхностная водная масса (термохалинный индекс  $14,05^{\circ}\text{C}$ ,  $34,72$  psu); промежуточная водная масса, которая разделена на две – промежуточную водную массу антарктического происхождения ( $6,24^{\circ}\text{C}$ ,  $34,25$  psu) и субантарктическую промежуточную водную массу ( $9,32^{\circ}\text{C}$ ,  $34,42$  psu); и глубинная водная масса ЮТО ( $2,75^{\circ}\text{C}$ ,  $34,32$  psu).

Идентифицированы вертикальные границы каждой водной массы в изучаемой толще ЮТО:

— нижняя граница субтропической поверхностной водной массы в центральной и западной частях ЮТО на глубине 300 м, в восточной – на глубине 200 м, верхняя граница – поверхность океана;

— нижняя граница субантарктической промежуточной водной массы доходит до глубины 400 м в восточной части ЮТО и опускается до 600 м в центральной и западной частях;

— нижняя граница АПрВ опускается от 850 м в восточной части ЮТО до 1300 м в западной части района; верхняя граница по глубине совпадает с нижней границей субантарктической промежуточной водной мас-

сы;

— нижняя граница глубинной водной массы не определена, а верхняя граница совпадает с нижней границей АПрВ.

Изменение толщи АПрВ в разных частях ЮТО происходит синхронно, что означает ее постоянство на всей изучаемой акватории. Максимальную толщину АПрВ занимает в восточной части ЮТО (суммарная толщина = 17 000 м), а в западной и центральной занимает примерно одинаковую толщину (суммарная толщина = 11 000 м). По изменчивости толщи водной массы можно судить об изменчивости ее объема.

2. В пространственно-временной изменчивости термохалинных характеристик АПрВ в ЮТО выделены следующие особенности:

В восточной части ЮТО происходит постоянный заток пресных вод с юга, улавливаемых по разнице величин стандартного отклонения и направлениям временных трендов;

— межгодовое изменение температуры и солёности в ядре АПрВ, характеризуется величинами СТО в 10 раз меньше для температуры и в 7 раз меньше для солёности по сравнению с центральной и западной частями океана; термохалинные параметры имеют разное направление временных трендов (положительного – для температуры, отрицательного – для солёности);

— в центральной и западной частях временные тренды термохалинных параметров совпадают (в центральной – убывают, в западной – возрастают).

Температура на верхней и нижней границах изменяется прямо пропорционально глубине этих границ.

Солёность верхней границы АПрВ является индикатором обновления антарктической воды в восточной части ЮТО: изменение солёности здесь происходит синхронно в центральной и западной частях ЮТО, при этом в восточной части изменение солёности обратно пропорционально ее изменению в центре и на западе ЮТО; изменение солёности на нижней границе АПрВ обратно пропорционально изменению температуры, и глубины.

3. В результате исследования пространственно-временной изменчивости вихрей ЮТО получены следующие результаты:

Поле АДТ методом кластерного анализа подразделено на 4 класса. Статистически значим первый класс (область с юга ограниченная САФ, а с севера – северной границей АЦТ):

— первый класс поля АДТ – единственный, параметры вихрей которого, имеют высокую статистическую связь: количество циклонов связано с их радиусом ( $r = 0,94$ ), а амплитуда со скоростью вращения ( $r = 0,96$ ); количество антициклонов связано с их амплитудой ( $r = 0,91$ ), с радиусом ( $r = 0,95$ ) и скоростью вращения ( $r = 0,94$ ); кроме того, выявлена связь амплитуды и скорости вращения ( $r = 0,90$ );

— вихри на акватории первого класса АДТ, подвержены влиянию поля давления, повышение давления в субтропике и его падение, через 8 месяцев приводит к увеличению интенсивности вихрей, что упрощает водообмен между антарктическими и субтропическими водами.

Расположение вихрей на акватории имеет зональный характер: в субтропической части преобладают циклоны, в умеренной – антициклоны, в субантарктической – циклоны.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ РАБОТЫ

### В изданиях, рекомендованных ВАК:

1. **Бородин Е.В.** Вертикальная структура промежуточных водных масс Антарктического происхождения в южной части Тихого океана // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2014. № 37. С. 143-154 (0,75 п. л.).
2. **Бородин Е.В.** О межгодовой изменчивости температуры и солености промежуточных водных масс антарктического происхождения в южной части Тихого океана // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2014. № 3. С. 90-95 (0,75 п. л.).
3. **Бородин Е.В.** Анализ пространственного распределения океанических вихрей в южной части Тихого океана // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2014. № 4. С. 62-66 (0,75 п. л.).
4. **Бородин Е.В., Чуринов Д.А., Чернышков П.П.** Влияние динамики вод на биомассу и распределение биологических ресурсов пелагиали южных частей Атлантического и Тихого океанов // Вестник БФУ (Естественные науки). 2014. №7. С. 142-154 (0,81 п. л.).
5. **Чуринов Д.А., Бородин Е.В., Чернышков П.П.** Научное обеспечение возобновления российского промысла в Антарктической части Атлантики и Южной части Тихого океана. // Рыбное хозяйство. 2014. №5. С. 8-13 (0,75 п. л.).

### В других изданиях:

6. **Бородин Е.В., Складаров М.Б., Чуринов Д.А., Чернышков П.П.** Межгодовые изменения вертикальной структуры водных масс в южной части Тихого океана в январе – декабре 2004 - 2009 гг. (по результатам зондирования дрейфующих буев международного научного проекта «Argo»). Ученые записки Русского географического общества (Калининградское отделение) [Электронный ресурс] / Российский гос. ун-т им. И. Канта, фак. Географии и геоэкологии. Т. 10. Калининград: РГУ им. Канта, 2010. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

7. **Бородин Е.В., Складаров М.Б., Чуринов Д.А., Чернышков П.П.** Межгодовые изменения вертикальной структуры водных масс в южной части Тихого океана в январе – декабре 2004 - 2009 гг. (по результатам зондирования дрейфующих буев международного научного проекта «Argo»). Сборник «Дни науки 2010». вып. 6: Естественные науки. Калининград: РГУ им. Канта, 2010. С. 65-71.
8. **Бородин Е.В., Чернышков П.П.** Циркуляция промежуточных вод антарктического происхождения в южной части Тихого океана. Материалы XV конференции по промысловой океанологии посвященной 150-летию со дня рождения Н.М. Книповича. Калининград: АтлантНИРО, 2011. С. 72-73.
9. **Бородин Е.В., Складаров М.Б., Чуринов 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: БФУ им. И. Канта. 2011 г. С. 42-54.
10. **Чернышков П.П., Амиров Ф.О., Бородин Е.В., Складаров М.Б., Чуринов Д.А.** Межгодовые изменения вертикальной структуры водных масс в южной части Тихого океана в январе-декабре 2004-2009 (по результатам зондирования дрейфующих буев проекта Argo) // Физические проблемы экологии. М.: МГУ им. Ломоносова, 2012. С. 408-415.
11. **Чернышков П.П., Амиров Ф.О., Бородин Е.В., Складаров М.Б., Чуринов 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: БФУ им. И. Канта, 2012. С. 62-73.
12. **Borodin Evgeniy, Tchernyshkov Pavel, Aleksandrov Sergey.** Year-to-year variations in water structure of the south Pacific based on the data of “Argo” project buoys studied in relation to Horse Mackerel (*Trachurus murphyi*) populations. Materials of international conference ICES 2013. ID: ICES CM 2013/B:61.
13. **Бородин Е.В.** Структура и динамика промежуточных вод Антарктического происхождения в южной части Тихого океана. Материалы XVI конференции по промысловой океанологии. Калининград: АтлантНИРО, 2014. С. 38-40.
14. **Амиров Ф.О., Нестеров А.А., Тимохин Е.Н., Бородин Е.В.** Анализ условий внешней среды и причин снижения биомассы запаса перуанской ставриды по экспедиционным данным ФГУП «АтлантНИРО» в юго-восточной части Тихого океана (ЮВТО) полученным в 2002-2011 гг. с привлечением материалов международных баз данных.

Материалы XVI конференции по промысловой океанологии. Калининград: АтлантНИРО, 2014. С. 19-22.

15. Архипов В.И., **Бородин Е.В.**, Бурькин С.Н., Краснобородько О.Ю., Кудерский С.К., Сигаев И.К., Тимохин Е.Н. Характеристика изменчивости гидрометеорологических условий, влияющих на биомассу и распределение промысловых рыб в районах Атлантики и ЮВТО в 2012 г. // Вопросы промысловой океанологии. 2013. №10. С. 6-26.
16. **Бородин Е.В.** Межгодовые изменения динамики промежуточных вод антарктического происхождения в южной части Тихого океана в связи со структурой и биомассой запаса ставриды // Вопросы промысловой океанологии. 2013. №10. С. 125-140.
17. Амиров Ф.О., Нестеров А.А., Тимохин Е.Н., **Бородин Е.В.** Анализ условий внешней среды и причин снижения биомассы запаса перуанской ставриды по экспедиционным данным ФГУП «АтлантНИРО» в Юго-восточной части Тихого океана полученным в 2002-2011 гг. с привлечением материалов баз данных. Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в 2010-2013 годах. Т.2. Океанические районы. Калининград: АтлантНИРО. 2014. С. 48-62.