Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта»

На правах рукописи

Бородин Евгений Владимирович

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

Специальность 25.00.28 – океанология

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:
доктор географических наук, профессор
Чернышков Павел Петрович

Калининград – 2015

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

ВВЕДЕНИЕ…….. 4

ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ И ПРОМЫСЛОВО-ОКЕАНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЮЖНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА……..... 11

1.1 Гидрометеорологические условия……..... 11

1.1.1 Климатическая характеристика района……. 11

1.1.2 Атмосферная циркуляция……... 13

1.1.3 Температура поверхности океана и ее связь с атмосферным давлением……... 21

1.2 Океанологические условия……. 29

1.2.1 Основные системы течений…… 29

1.2.2 Фронты и фронтальные вихри……..…….. 31

1.2.3 Водные массы……... 33

1.3 Факторы, влияющие на продуктивность вод южной части Тихого океана... 36

1.4 Научно-промысловое изучение южной части Тихого океана……. 40

Выводы по первой главе……. 48

ГЛАВА 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ИСПОЛЬЗУЕМЫХ НАТУРНЫХ ДАННЫХ И МЕТОДОВ ИХ АНАЛИЗА……. 50

2.1 Используемые данные……. 50

2.2. Методы анализа натурных данных……... 55

2.2.1 Анализ временных рядов…… 55

2.2.2 Анализ полей…… 56

Выводы по второй главе…….. 62

ГЛАВА 3. СТРУКТУРА И ДИНАМИКА ВОД В ЮЖНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА……... 63

3.1 Вертикальная структура водных масс в южной части Тихого океана……... 63

3.1.1 Среднемноголетняя вертикальная структура водных масс в южной части Тихого океана……. 63

3.1.2 Межгодовая изменчивость вертикальной структуры водных масс в южной части Тихого океана…… 69
3.2 Исследование пространственно-временной изменчивости вихрей в южной части Тихого океана…….. 72
3.2.1 Пространственное распределение вихрей и их параметров…… 72
3.2.2 Временная изменчивость вихрей и их параметров……... 81
Выводы по третьей главе…… 91
ГЛАВА 4. МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ВОДНОЙ МАССЫ АНТАРКТИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ЮЖНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА…….. 94
4.1 Межгодовая изменчивость температуры и солености в ядре промежуточной водной массы антарктического происхождения в южной части Тихого океана…….. 94
4.2 Межгодовая изменчивость температуры на границах промежуточной водной массы антарктического происхождения в южной части Тихого океана…….. 97
4.2.1 Межгодовая изменчивость глубины верхней и нижней границ промежуточной водной массы антарктического происхождения……..... 97
4.2.2 Межгодовая изменчивость температуры и солености на верхней границе промежуточной водной массы Антарктического происхождения… 98
4.2.3 Межгодовая изменчивость температуры и солености на нижней границе промежуточной водной массы Антарктического происхождения… 100
4.3 Межгодовая изменчивость толщи промежуточной водной массы Антарктического происхождения в южной части Тихого океана…… 102
Выводы по четвертой главе…… 105
ЗАКЛЮЧЕНИЕ…… 107
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ …….……..……. 109
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ…… 110

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Акватория южной части Тихого океана (ЮТО), является наиболее продуктивным океаническим районом Тихоокеанского бассейна. Начатые в 1978 г. промыслово-океанологические исследования этого района продолжались вплоть до 1991 г. и были остановлены из-за финансово-экономических проблем рыболовной отрасли бывшего СССР. За 13 лет научных и промысловых работ, проведенных 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» (Чернышков, Дерябин, 2008; Глубоков и др., 2010). После 1991 г., было проведено несколько научно-исследовательских экспедиций (2002-03, 2009, 2010 гг.), однако они ограничивались районом юго-восточной части Тихого океана (ЮВТО). В район юго-западной части Тихого океана (ЮЗТО) научно-поисковых экспедиций не проводилось. По этой причине, без предварительных исследований нельзя утверждать, что район ЮЗТО (Рисунок 1) является бесперспективным районом для промысла.

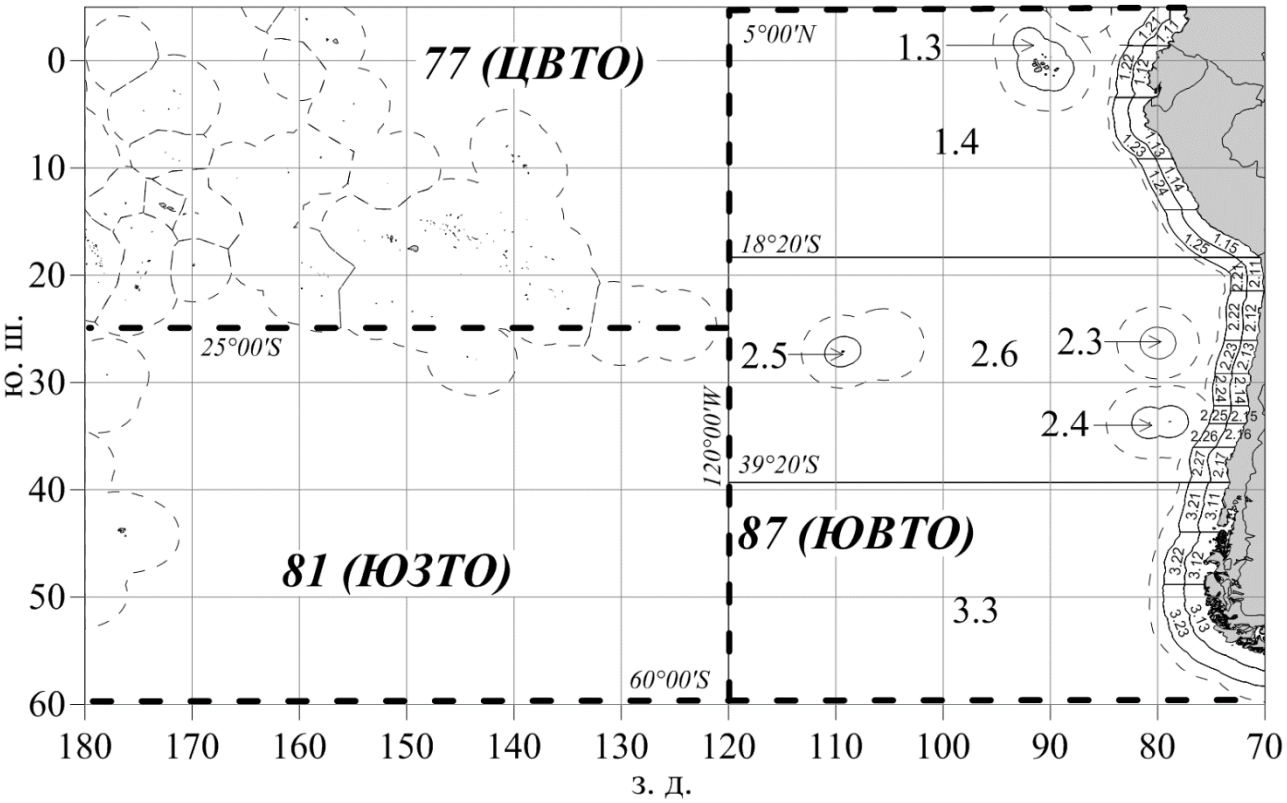


Рисунок 1 – Схема основных промысловых районов в ЮТО, схема дана согласно классификации FAO (Основные рыбопромысловые…)

Хорошая промысловая обстановка, наблюдавшаяся в период промысла с 1978 по 1991 гг., была обусловлена наличием стабильной кормовой базой для рыбы, основу которой составляет планктон. Развитию такой кормовой базы в океанической части ЮТО способствует проникновение Антарктической поверхностной воды (Глубоков и др., 2010), которая в ЮТО трансформируется в несколько модификаций: субантарктическая модовая вода (СМВ), которая в отечественной литературе называется подповерхностная промежуточная вода (Кукса, 1983) и промежуточную водную массу антарктического происхождения (АПрВ). Проникая в ЮТО, АПрВ несет в себе биогенные элементы (Fraga et al., 1984), которые не ассимилируются в зоне Антарктики из-за низких температур и отсутствия достаточной освещенности (Чернявский и др., 1976). Поступая в верхний фотический слой ЮТО АПрВ формируют основу высокой продуктивности вод. Сравнивая карты распределения азота, фосфора и кремния (Малинин, Гордеева, 2009), на которых наблюдается повышение концентрации биогенных элементов по направлению с севера на юг, с распределением фито и зоопланктона из работы (Atkinson et al., 2012) где говорится об увеличение в сторону Антарктики общего тренда в разнообразии и количестве биомассы, легко объяснить увеличение биологической продуктивности вод повышенным содержанием в них биогенных элементов, источником которых являются антарктические воды. Следовательно, изменение объема проникающих в ЮТО АПВ, может в свою очередь сказываться на изменении общей биологической продуктивности вод и биомассе тихоокеанской ставриды ЮТО (Чурин и др., 2014). Для изучения АПрВ ЮТО широтный пояс 20-45° ю.ш. был смещен южнее – ближе к области ее образования, т.о. область изучения охватывает акваторию ЮТО ограниченную 32,5-61,5° с.ш., 88,5-170,5° з.д.

Таким образом, получение научно-обоснованных представлений о межгодовых изменениях толщины слоя АПрВ в ЮТО, является актуальной задачей для объяснения увеличения или уменьшения биомассы ставриды.

Следует также отметить тот факт, что проводимые в районе ЮТО исследования способствуют укреплению позиций Российской Федерации в мировом рыболовстве, и, таким образом, согласуются с подписанной Президентом Российской Федерации 27 июля 2001 г. «Морской доктриной Российской Федерации до 2020 г.», которая определяет значение Мирового океана для будущего человечества. Освоение пространств и ресурсов Мирового океана является одним из главных направлений развития человеческой

цивилизации в третьем тысячелетии. Сущность национальной политики ведущих морских держав и большинства государств мирового сообщества в обозримом будущем составят самостоятельная деятельность и сотрудничество в освоении ресурсов Мирового океана, а также неизбежное соперничество в этой области. (Морская доктрина, 2001). В свою очередь, одной из основных задач промысловой океанологии является определение на научной основе величины возможного вылова биологических ресурсов (рыбы и др. объектов промысла) из Мирового океана, так называемого «общего допустимого улова». Целью промыслово-океанологических исследований в России является научно-обоснованное обеспечение устойчивого российского вылова рыбы и других морепродуктов в океанических районах промысла. Она вытекает из главной стратегической задачи обеспечения продовольственной безопасности России (Макоедов, Дягилев, 2002).

Степень разработанности проблемы. Изучению водной массы АПрВ посвящена работа М.Н. Кошлякова и Р.Ю. Тараканов (2005). В данной работе на основе данных проекта WOCE, полученных до 2000 г., дается описание распределения АПрВ на акватории ЮТО. В серии работ С.В. Голивец и М.Н. Кошляков (2003, 2004) показано что формирования АПрВ, отчасти, происходит за счет вихрей, отделившихся от субантарктического фронта (САФ). Сформулирована математическая модель, по которой проводится расчет и оценка потери соли АПрВ ЮТО вследствие отделения циклонических вихрей от САФ. Результаты работы (Голивец, Кошляков, 2003) проверяются в работе (Голивец, Кошляков, 2004), где происходит фактический подсчет количества вихрей, отделившихся от САФ. Изучению АПрВ также посвящены работы (Iudicone et al., 2007; Corinne et al., 2011). Выводы этих работ сводятся к тому что ЮВТО является основным регионом формирования АПрВ в ЮТО.

В указанных работах подробно описана структура и формирование водной массы АПрВ, однако межгодовая изменчивость положения в пространстве и параметров АПрВ не рассматривалась. В этой диссертации с помощью статистических методов и данных температуры и солености проекта Argo рассматривается межгодовая изменчивость термохалинных характеристик в ядре, на верхней и нижней границах АПрВ. Также рассматривается межгодовая изменчивость толщи АПрВ в восточной, центральной и западной частях ЮТО.

Цель исследования: выяснить закономерности структуры и особенностей межгодовой изменчивости промежуточной водной массы антарктического происхождения в ЮТО.

Задачи исследования: 1) описать пространственное положение АПрВ в толще ЮТО на основе *T,S*-данных, полученных с помощью проекта Argo; 2) провести анализ пространственно-временных изменений температуры и солености АПрВ 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 ЮТО.

Предмет исследования – закономерности формирования и межгодовых изменений термохалинных характеристик АПрВ в ЮТО.

Основные положения диссертационной работы, выносимые на защиту:

1) Классификация вертикальных разрезов по термохалинным данным полученным с помощью проекта Argo, свидетельствует о том, что глубины верхней и нижней границ АПрВ изменяются одновременно на всей акватории ЮТО и при этом независимо друг от друга.

2) Закономерности пространственно-временной изменчивости термохалинных характеристик слоя АПрВ в ЮТО говорят о том, что соленость на верхней границе АПрВ в ЮТО является индикатором обновления данной водной массы.

3) Перенос антарктической воды в субтропическую часть юга Тихого океана циклоническими вихрями САФ 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 в ЮТО 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 ЮТО 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 САФ в пределах области антарктического циркумполярного течения (АЦТ). Показано что циклонические вихри, подвержены влиянию первой главной компоненты (ГК) атмосферного давления на уровне моря.

Методической основой исследования послужили методы одномерного и многомерного статистического анализа (корреляционные анализы, кластерный анализ, метод ГК). Для применения этих методов использовались программы Statistica и IBM SPSS Statistics.

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

Эмпирической основой исследования послужили источники данных, полученные путем измерений:

– результаты проекта Argo – измерения океанологических характеристик (CTD) до глубины 2000 м (Global Marine…);

– результаты проекта AVISO – измерение абсолютной динамической топографии поверхности океана (Archiving, Validation…);

– данные спутниковых измерений температуры поверхности океана (Integrated Global…) и атмосферного давления на уровне моря (National Centers…).

Использовался источник данных, сформированный на основе данных проекта AVISO – Mesoscale eddies in Altimeter Observations of SSH (массив Челтона). Данный массив создан в рамках глобального исследования нелинейных мезомасштабных вихрей (Chelton et al., 2011). Он содержит в себе данные о вихрях, начиная с 1992 по 2013 гг., а именно: уникальный номер вихря, количество точек, в которых фиксировался вихрь, дата фиксации вихря с обозначением координат, а также данные об амплитуде (см), диаметре (км), времени жизни вихря (недели), и скорости вращения (см/с).

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

Практическая значимость результатов состоит в следующем: 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 ЮТО. Мониторинг изменения солености на верхней границе АПрВ на востоке ЮТО позволяет определять периоды усиления или ослабления проникновения антарктической воды в ЮТО и прогнозировать изменение биологической продуктивности вод данного района.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Проводимые исследования соответствуют паспорту специальности 25.00.28 (Океанология) в области исследования № 4: *процессы формирования водных масс, их пространственно-временной структуры, гидрофизические поля Мирового океана.*

Изложенные в диссертационном исследовании положения и выводы не противоречат классическим представлениям о вертикальной структуре АПрВ и проливают свет на ее изменение в толще ЮТО, что говорит о **достоверности полученных результатов**.

Апробация работы. Основные части работы 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 подготовке архивов информации за период с 2004 по 2013 гг. и формировании выборок, в разработке узкофункционального программного обеспечения для анализа, проведении статистических расчетов, выполнении графических построений, развернутом анализе результатов, самостоятельной апробации результатов – подготовке публикаций и выступлении на научных конференциях. Статьи, содержащие основные выводы, опубликованы лично автором в изданиях, рекомендованных ВАК.

Структура диссертации. Работа содержит: 120 страниц, 4 главы, 44 рисунка, 8 таблиц, 122 источников литературы, в том числе 44 на иностранном языке.

Первая глава посвящена физико-географическому и промыслово-океанологическому описанию района ЮТО. Описаны гидрометеорологические условия акватории, закономерности атмосферной циркуляции, взаимодействие атмосферных процессов и температуры поверхности океана (ТПО), океанологические условия, формирование продуктивности района. Также приводится краткое историческое описание освоения района ЮТО. Вторая глава посвящена описанию источников данных и методов, используемых для достижения цели. Третья глава посвящена изучению среднемноголетней структуры и ее межгодовой изменчивости водных масс ЮТО. Рассматривается пространственно-временная изменчивость вихрей акватории ЮТО. С помощью методов кластерного анализа проводится изучение среднемноголетней вертикальной структуры АПрВ, а также межгодовой изменчивости вертикальной структуры АПрВ. Выполняется анализ распределения основных параметров, а также межгодовая изменчивость вихрей на акватории ЮТО. Четвертая глава посвящена изучению межгодовая изменчивости АПрВ в ЮТО. Рассматривается межгодовая изменчивость температуры и солености в ядре АПрВ в ЮТО. Изучается межгодовая изменчивость температуры и солености на верхней и нижней границах АПрВ в ЮТО. Изучается межгодовая изменчивость суммарной толщины АПрВ на трех разрезах ЮТО. В заключении сформулированы основные выводы.

Благодарности. Автор выражает особую благодарность своему научному руководителю д.г.н., заслуженному работнику рыбного хозяйства Российской Федерации, профессору океанологии Павлу Петровичу 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; к.г.н. доценту РГГМУ С.М. Гордеевой за конструктивную критику.

ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ И ПРОМЫСЛОВО-ОКЕАНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЮЖНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА

1.1 Гидрометеорологические условия

1.1.1 Климатическая характеристика района

Район ЮТО охватывает четыре климатических пояса: субэкваториальный, тропический, субтропический, умеренный.

Субэкваториальный пояс (Рисунок 1.1) располагается между 3-5° ю.ш. и крайним летним положением внутритропической зоны конвергенции (ВЗК). Характеризуется ярко выраженной сезонностью. Летом преобладает теплый и влажный экваториальный воздух, а зимой, с пассатами, поступает свежий, сухой и прохладный тропический. Летом температура воздуха 26-28 °С, значительная облачность, количество осадков достигает 300-400 мм/месяц, ветер (3-5 м/с) имеет преимущественно противопассатное направление. Зимой температура воздуха понижается до 24-26 °С, уменьшается облачность, сокращается количество осадков, иногда до 20-50 мм/месяц, усиливается пассат (5-7 м/с) (Тихий океан…, 1981). В пределах субэкваториальной зоны ЮТО принято выделять две области (Рисунок 1.1): более жаркую и дождливую (I/1) и менее жаркую и дождливую (I/2) (Соркина, 1949).

Границы тропического пояса (Рисунок 1.1) определяются с севера средним летним положением ВЗК, а с юга – средним зимним положением полярного фронта. Здесь располагаются устойчивые области высокого давления и дивергенции воздушных потоков, в пределах которых в течение всего года, формируется теплый и влажный тропический воздух (Тихий океан…, 1981). По характеру погоды в тропической зоне выделяют две физико-географические области (Рисунок 1.1). В восточной области (II/1) проходят обширные холодные течения, резко охлаждающие нижние слои тропического воздуха, особенно у берегов Южной Америки, где повышение температуры воздуха с высотой в слоях инверсии достигает 7-9 °С на 100 м. В случае несколько приподнятых

инверсий под ними развивается сплошная слоистообразная облачность, которая, однако, практически не дает осадков. Данная область является зоной воздействия пассатов, благодаря которым формируется Перуанский апвеллинг. Вторая область (II/2) характеризуется более теплой и более дождливой погодой, она делится на два физико-географических района: II/2a – район пассатов – скорость ветра 6-7 м/с, температура воздуха 24-28 °С (Тихий океан…, 1981), и II/2b – район неустойчивых ветров – скорость ветра от 6-7 м/с летом, до 8-11 м/с зимой, температура воздуха от 13-14 °С зимой, до 20-22 °С летом (Тихий океан…, 1981).

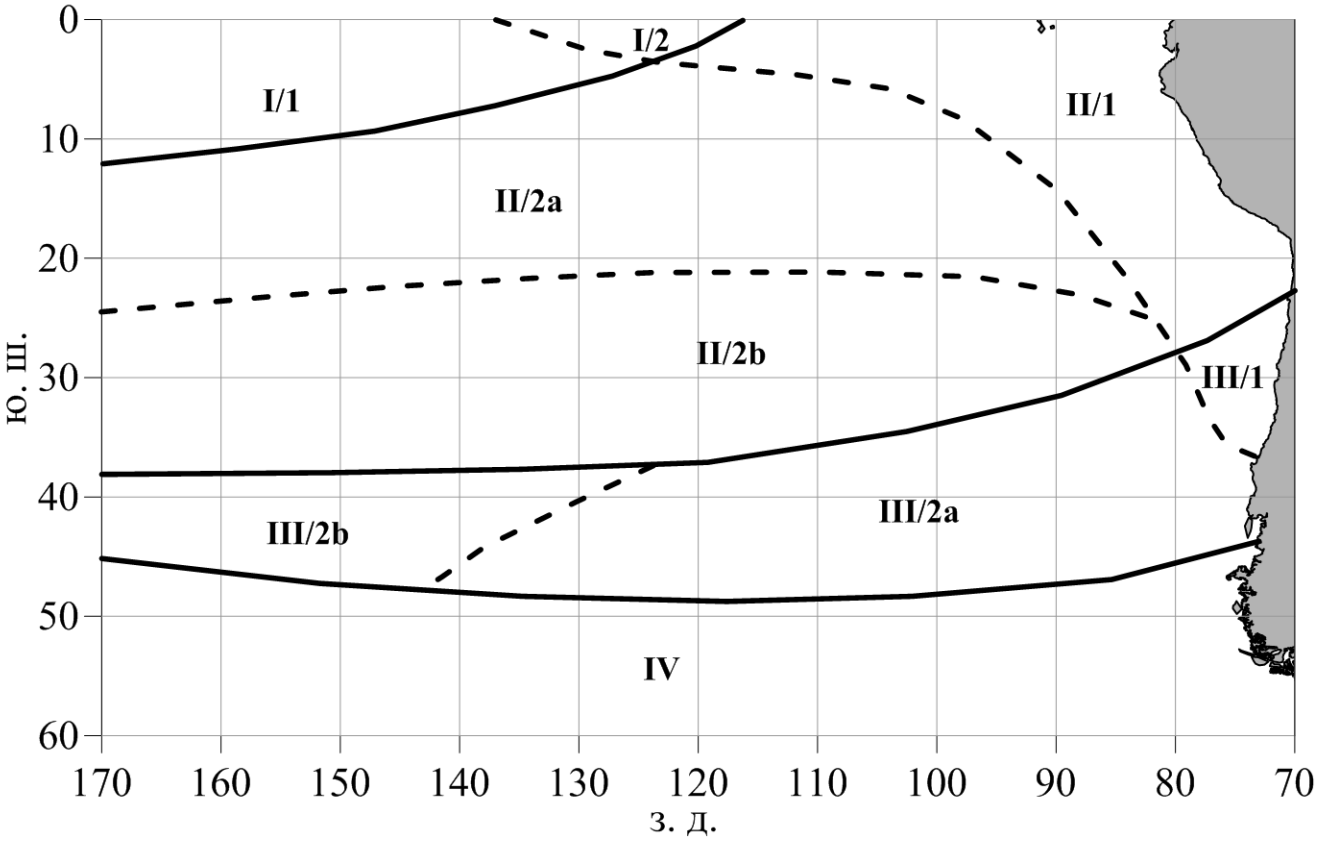


Рисунок 1.1 – Климатическое районирование ЮТО; сплошные линии – границы климатических поясов, пунктирные – границы климатических областей (Атлас океанов, 1974); условные обозначения поясов и областей: I – субэкваториальный: 1 – более жаркая и дождливая, 2 – менее жаркая и дождливая; II – тропический: 1 – менее жаркая и дождливая, 2a – район пассатов, 2b – район неустойчивых ветров; III – субтропический: 1 – восточная прибрежная, 2a – область большей интенсивности циклонов, 2b – область меньшей интенсивности циклонов; IV – умеренный

Границы субтропического пояса (Рисунок 1.1) определяются с одной стороны летним, а с другой стороны − зимним положением климатического полярного фронта. Соответственно летом здесь преобладает антициклоническая циркуляция в теплом и влажном морском тропическом воздухе, а зимой – циклоническая циркуляция с частыми

вторжениями значительно более холодного морского умеренного воздуха. Значительны сезонные изменения температуры воздуха – от 5-8 °С зимой до 25-28 °С летом. Ветер переменных направлений, летом 6-7 м/с, зимой, когда нередко бывают штормы, в среднем 8-12 м/с (Тихий океан…, 1981).

В субтропическом поясе ЮТО выделяется восточная прибрежная область (III/1), с теплой дождливой зимой и прохладным безосадочным летом и два района в центральной области с большей (III/2a) и меньшей (III/2b) интенсивностью циклонической деятельности в зимний период.

Южнее субтропического климатического пояса располагается умеренный пояс (Рисунок 1.1). Здесь преобладают воздушные массы умеренных широт. Он характеризуется интенсивной циклонической деятельностью, особенно зимой, и высокой повторяемостью пасмурного неба. Осадки превышают испарение. Преобладают ветры западных направлений. Значительны сезонные изменения температуры воздуха. Зимний период характеризуется интенсивной циклонической деятельностью и повышенной повторяемостью штормов и осадков.

Южнее умеренного пояса располагается субантарктический пояс. В нем преобладают западные ветры. Высокая повторяемость штормов. Часты осадки, в связи с чем, воды, находящиеся в этой области имеют низкую соленость, что объясняет минимальное значение солености АПрВ в ЮТО и позволяет без труда обнаруживать ее на *T,S*-кривых. Во все сезоны встречаются плавучие льды, которые особо многочисленны зимой.

1.1.2 Атмосферная циркуляция

Основной закономерностью атмосферной циркуляции над ЮТО является наличие отчетливо выраженного максимума давления – Южно-Тихоокеанского Антициклона (ЮТА), центр которого отмечается вблизи точки с координатами 32° ю.ш. и 95° з.д. и который очень хорошо различается на карте распределения среднемноголетних значений атмосферного давления (Рисунок 1.2). Он является сильнейшим субтропическим антициклоном южного полушария (Метеорология южного полушария, 1976).

Изменение давления в центре ЮТА, а также его пространственное перемещение определяет не только метеорологический режим исследуемого района, но и влияет на тепловой бюджет и характер дрейфовых течений верхнего слоя океана.

Существенными в течение года оказываются пространственные миграции ЮТА. Так, крайнее северное положение ЮТА занимает в июне-июле, а крайнее южное – в феврале. В январе-феврале ЮТА занимает крайнее западное положение, а в апреле-мае – крайнее восточное. Следует сказать, что изменчивость ЮТА по долготе существенно выше, чем по широте как внутри года, так и в межгодовом плане. Обобщая, можно сказать, что в течение года ЮТА перемещается из крайнего юго-западного положения (январь-февраль) в крайнее северо-восточное (июнь) и обратно. В работе (Малинин, Гордеева 2009), методом статистической обработки установлено, что смещение ЮТА на юг сопровождается движением его на запад. При этом давление в центре ЮТА увеличивается. Естественно, что при смещении ЮТА в противоположную сторону отмечается тенденция к уменьшению давления. Данное пространственное перемещение было установлено ранее, в работе (Тимохин, 2007), с помощью кластерного анализа.

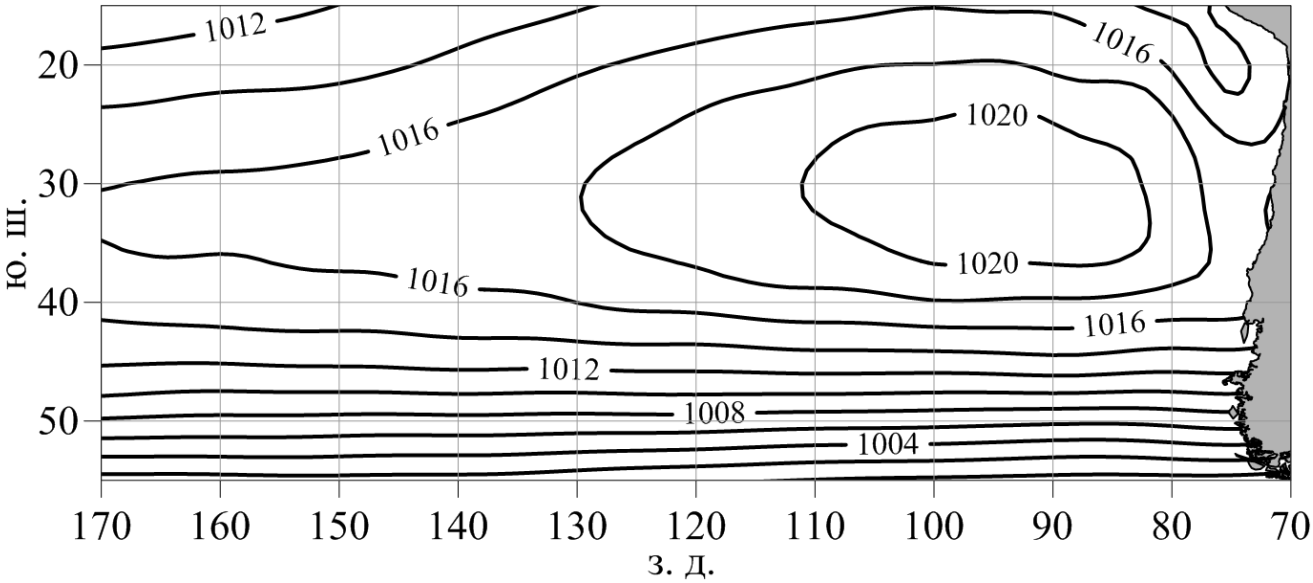


Рисунок 1.2 – Пространственное распределение среднего атмосферного давления на уровне моря за период с января 1950 по декабрь 2012 гг. (рассчитано на основе National Centers for…)

Влияние атмосферной циркуляции непосредственно на гидрологический режим ЮТО, можно характеризовать несколькими процессами. Во-первых, это наличие западного переноса, возникновение которого хорошо описано в работе (Сидоренков,

2002). Согласно этому описанию, в поле силы тяжести конвективное движение воздуха от экватора к полюсам, вызванное градиентом плотности из-за неравномерного нагрева воздуха в низких и высоких широтах, под действием вращения Земли отклоняется в восточном направлении, таким образом, образуется западный перенос (Сидоренков, 2002). От него зависит интенсивность АЦТ и, соответственно, интенсивность вихрей в нем. Интенсивность зонального переноса описывается индексом Антарктического колебания (АК) предложенным в работе (Gong, Wang, 1999). Этот индекс был вычислен как разность между нормализованными зонально-осредненными среднемесячными значениями приземного атмосферного давления на 40 и 65° ю.ш., т.е. на параллелях, характеризующих среднее положение стрежней соответствующих зон максимальных альтернативных колебаний давления. В работе (Гордеева, Малинин, 2005) был предложен региональный индекс $АК_т$ – антарктическое колебание тихоокеанское. Данный индекс отражает интенсивность зонального геострофического переноса над ЮВТО. Он подробно описан в работе (Гордеева, Малинин, 2009).

Во-вторых, это пассатная циркуляция у побережья Южной Америки, вызываемая изменением давления над побережьем и в центре ЮТА, которую можно определить индексом Южного Колебания (ЮК) (Гордеева, Малинин, 2009). При высоких значениях ЮК, наблюдается интенсивный юго-восточный пассат, от которого зависит интенсивность Перуано-Чилийского апвеллинга.

Для исследования пространственно-временной изменчивости атмосферной циркуляции применялся метод главных компонент (ГК), который получил широкое распространение в гидрометеорологии (Сирота, 2003; Гордеева, 2008; Малинин, Гордеева, 2009).

В качестве исходных данных использовались ряды среднемесячных значений давления в 1 200 узлах регулярной сетки, пространственная дискретность которой составляет 2,5°, район исследования ограничен 20-65° ю.ш., 70-180° з.д. Для анализа было выделено первые 5 ГК, которые описывают 73 % дисперсии. Вклад каждой из них показан в Таблице 1.1. Интерпретации подвергались первые три ГК (Рисунок 1.3).

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. (Рисунок 1.3). 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 (Рисунок 1.3). Третья ГК описывает 14 % дисперсии и отображает обратную изменчивость поля давления в центральной части района, она в большей степени связана с зональным переносом (Рисунок 1.3).

Таблица 1.1 – Вклад первых ГК в общую дисперсию поля атмосферного давления на уровне моря

	Собственное число	% дисперсии	Общая дисперсия
ГК1	273,74	30,31	30,31
ГК2	154,81	17,14	47,45
ГК3	131,13	14,52	61,98
ГК4	86,20	9,54	71,52
ГК5	58,71	6,50	78,03

Обычно, при выполнении разложения поля на ГК, первая ГК описывает значительно больший процент дисперсии (около 50-70 %). Факт небольшого процента дисперсии первой ГК (Таблица 1.1) объясняется значительной площадью акватории, и, следовательно, большим количеством переменных, участвующих в расчете. Поскольку на акватории такого масштаба помимо основных процессов имеют место и другие процессы, более меньшего масштаба, то каждый такой процесс будет вносить свой вклад в расчет и соответственно занимать определенный процент дисперсии.

На Рисунке 1.4 представлены графики первых трех ГК поля давления. Для всех трех ГК, спектральный анализ Фурье относительно фактических данных, показал наличие годового хода, полугодовой ход прослеживается только для первой и третьей ГК, для второй же, полугодовой ход отсутствует. Распределение временной изменчивости (Рисунок 1.5) показало, что минимальное значение первая ГК имеет в мае-июле, а максимальное в сентябре-ноябре; для второй ГК, минимальное значение – июнь-июль, максимальное – январь-февраль; для третьей ГК, минимальное – в августе-сентябре, максимальное – апреле-мае. После применения сглаживания по 13 точкам, и повторного применение спектрального анализа Фурье к полным рядам ГК (с января 1950 по декабрь 2012), циклы распределились следующим образом: в ГК1 преобладает 11-ти летний цикл (≈ 10,66 лет), который скорее всего связан с 11-летним циклом Солнечной активности; в ГК2 и ГК3 преобладает 6-ти летний цикл (≈ 6,4 лет).

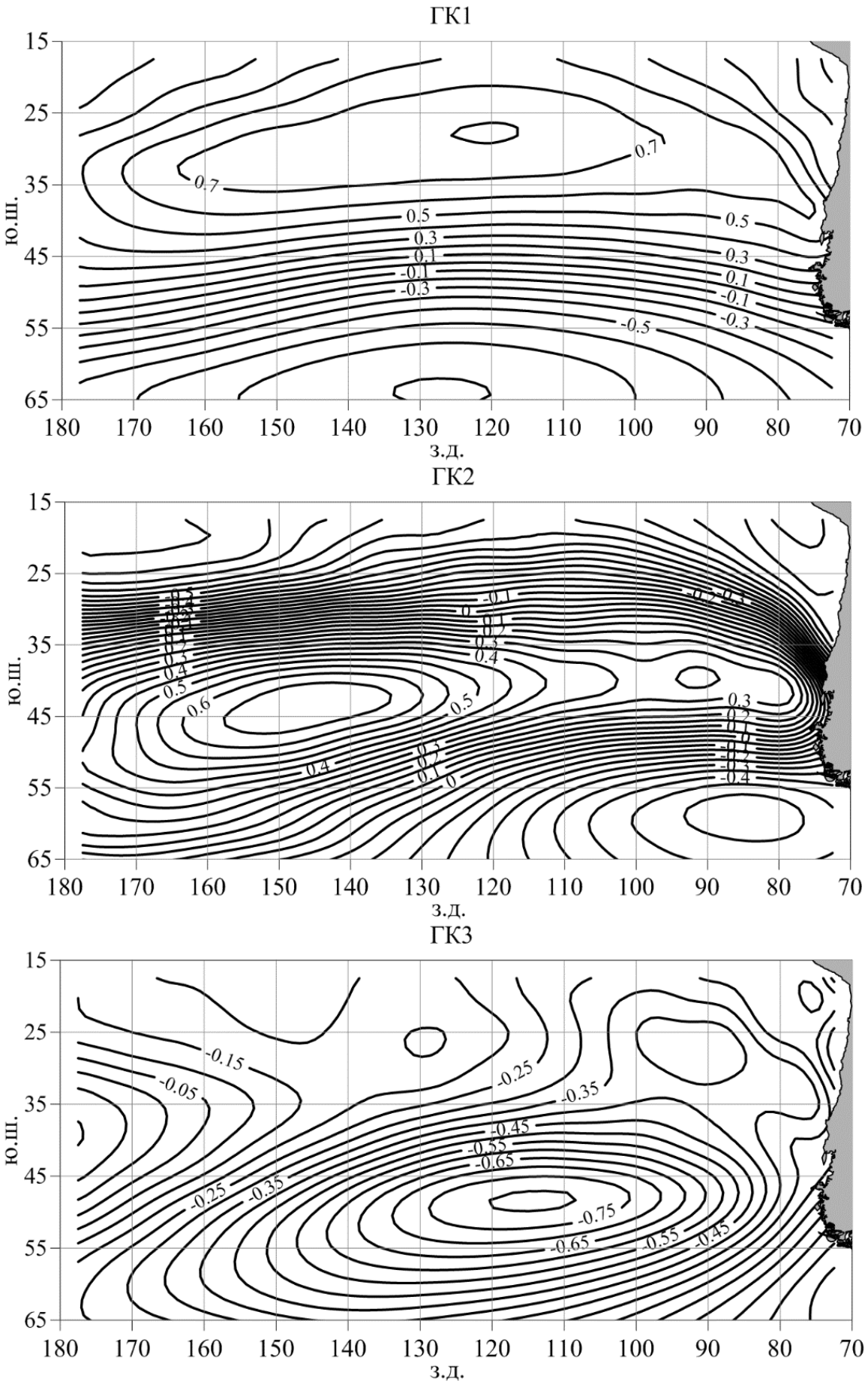


Рисунок 1.3 – Нагрузки первых трех ГК поля атмосферного давления на уровне моря (рассчитано на основе National Centers…)

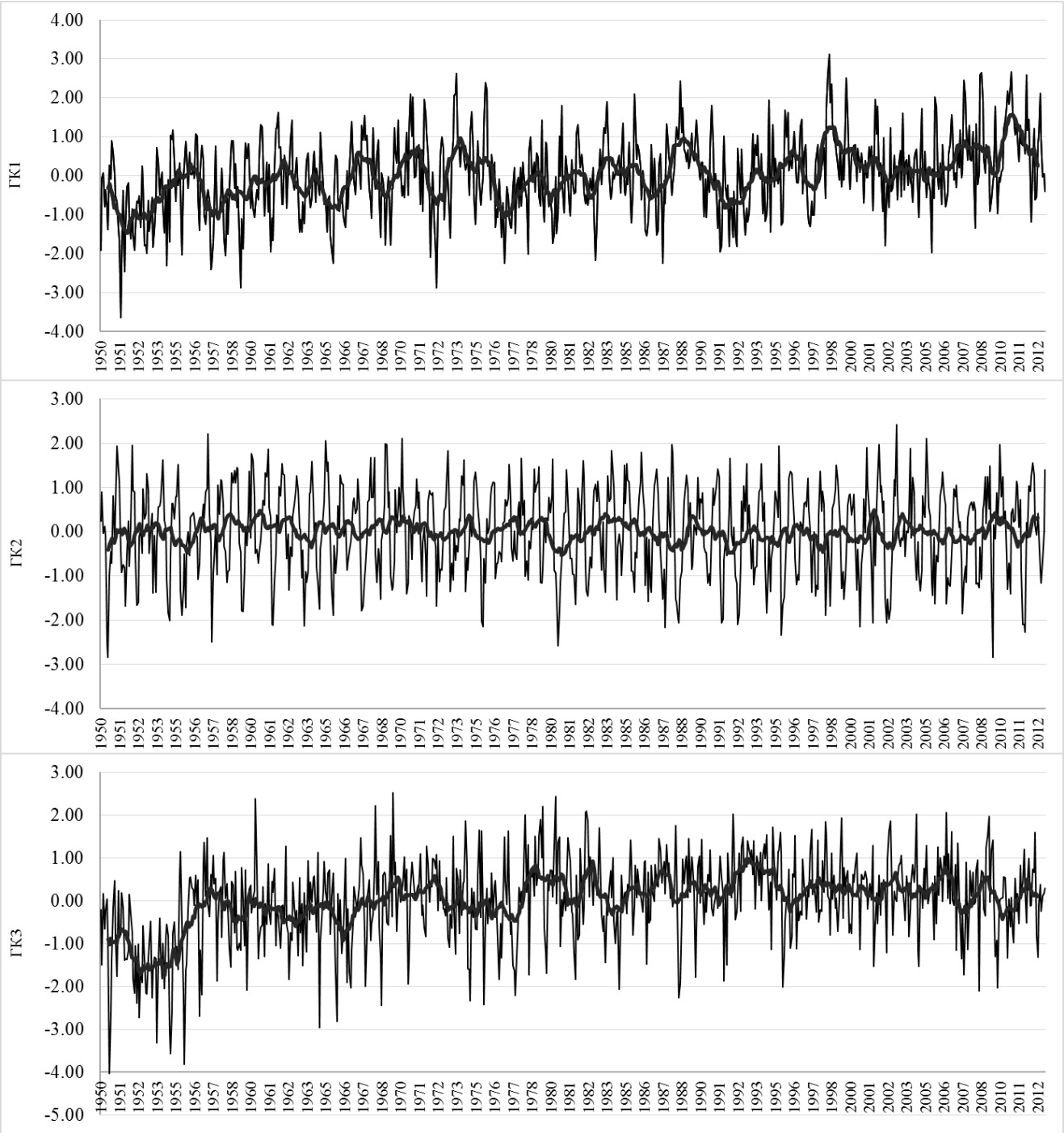


Рисунок 1.4 – Среднемесячное изменение первых трех ГК поля атмосферного давления на уровне моря, толстые линии – значения, сглаженные скользящей средней с периодом 13 (рассчитано на основе National Centers…)

Для выделения периодов атмосферной циркуляции, применялся кластерный анализ методом Уорда. В качестве объектов классификации выступали среднемесячные значения давления, признаками являлись первые пять ГК. Классификация, которая была приведена в работе (Использование…, 1986), не используется, поскольку масштаб района исследования данной работы превышает тот, что был в работе (Использование…, 1986).

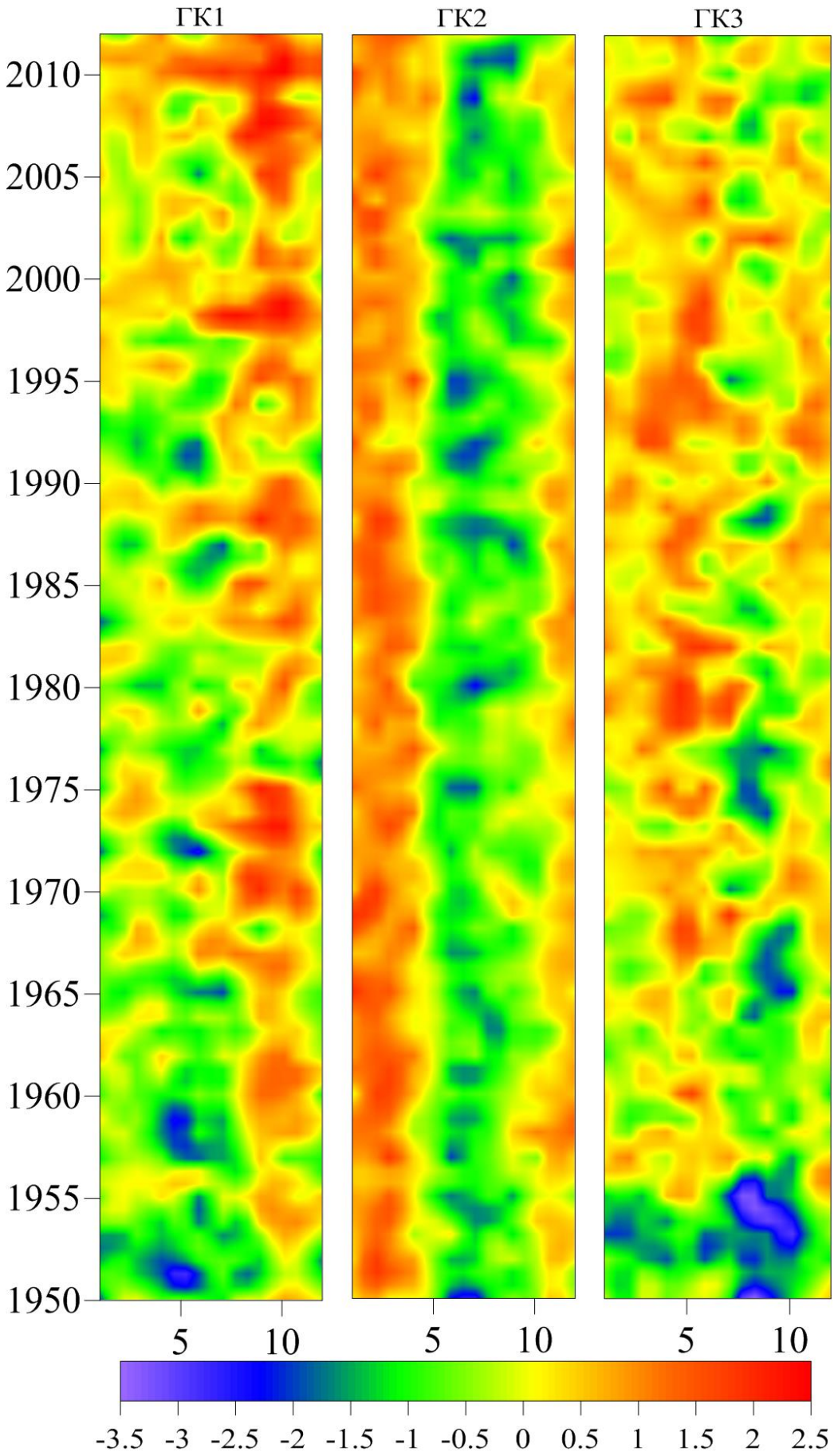


Рисунок 1.5 – Временная изменчивость первых трех ГК поля атмосферного давления на уровне моря (рассчитано на основе National Centers…)

В результате было выделено три четких типа атмосферной циркуляции. Первый наблюдается в декабре-апреле, второй в мае-августе, а третий в сентябре-октябре.

Синоптическая обстановка первого класса, характеризуется давлением в центре ЮТА на уровне нормы и ниже нее в среднем на 5-10 мБар, а также наличием выраженного пояса низкого давления с осью на 60° ю.ш. со значением давления, преимущественно, на уровне нормы и выше нее на 10-15 мБар.

Синоптическая обстановка второго класса, отличается от первого тем что, наблюдается аномальное увеличение давление на 60° ю.ш., это происходит по причине проникновения антициклонов на юг, в область циклоногенеза, т.е. при синоптической обстановке первого класса, движение вторичных центров ЮТА происходит в направлении запад-восток, а при ситуации второго класса имеет место движение максимумов с севера на юг, и вытягивание гребней высокого давления на юг и юго-запад.

Синоптическая ситуация третьего класса является переходной. При установлении этой ситуации, наблюдается вклинивание ложбин низкого давления из области Антарктики, а также преимущественно отрицательные аномалии в области субантарктической депрессии.

Очевидным результатом смены синоптической ситуации, является изменение зонального и меридионального переноса и изменение направления ветра. При синоптической ситуации первого класса, преобладает западный перенос, в таком случае, направление ветра к югу от 50° ю.ш. – западное, на всем протяжении ЮТО, а к северу от 50° ю.ш. – зависит от формы изгиба изобар ЮТА. При ситуации второго класса, из-за смещения дополнительных центров ЮТА на юг, в область циклогенеза, изменяется и форма изобар в этой области, в результате чего направление ветра меняется на южное и юго-западное, но данное изменение наблюдается не на всей области, а только на западном «склоне» антициклона, который вторгся в область низкого давления. Однако такое явление крайне кратковременно, поскольку градиент плотности воздуха между экватором и полюсами постоянен и поддерживает конвективное движение воздуха.

1.1.3 Температура поверхности океана и ее связь с атмосферным давлением

Крупномасштабная изменчивость температуры поверхности океана (ТПО) определяется колебаниями компонент теплового баланса океана. Согласно В.Н. Малинину (1998), такими компонентами являются перенос тепла за счет вертикальных и горизонтальных движений в океане, а также внешний тепловой баланс океана. В прибрежной области крупномасштабная изменчивость ТПО определяется апвеллигом и переносом тепла течениями. В океанической области изменчивость контролируется инсоляцией и притоком вод из областей, примыкающих к ЮТО. Это особенно выражено в южной части района, где на огромном расстоянии район не имеет никаких преград для водообмена с зоной АЦТ.

С целью исследования межгодовых изменений температурных условий выполнено сглаживание скользящим средним для удаления годового хода из рядов среднемесячных значений ТПО за период января 1982 по декабрь 2012 гг. Таким образом, были получены ряды среднегодовых значений ТПО для каждого месяца.

Первое представление о величине межгодовой и пространственной изменчивости дает распределение среднеквадратического отклонения (СКО) ТПО (Гордеева, 2008; Сирота, 2003; Тимохин, 2004). При рассмотрении пространственного распределения СКО ТПО (Рисунок 1.6) выделено несколько областей максимальных и минимальных значений, преимущественно очагового характера. Первыми такими являются области, отмеченные цифрами 1 и 2 (Рисунок 1.6) (возможно данные области следует объединить, поскольку они имеют объединяющую изолинию 0,42 °С), разделенные по причине большого расстояния между очагами. В пределах области, ограниченной данной изолинией, максимальное значение СКО > 0,55 °С. Ясно, что для центральной области ЮТО характерно сильное межгодовое изменение ТПО. Данная область может быть соотнесена с центром южного субтропического круговорота Тихого океана. Так же необходимо отметить, что с севера области 1 и 2 (Рисунок 1.6) ограничены зоной изолиний СКО, вытянутых с северо-запада на юго-восток, которая может быть соотнесена с южной субтропической конвергенцией (по Буркову, 1972). К северу от данной области, находится область пониженных значений СКО, которая отмечена номером 5 (Рисунок 1.6), и которая может быть соотнесена с южно-пассатным течением.

Нужно отметить, что области 3 (область высоких значений СКО − > 0,55 °С) и 4 (область низких значений − < 0,3 °С), соотносятся с зоной АЦТ, при этом область 3: с одной стороны, соответствует зоне сужения потока АЦТ (Бурков, 1972), а с другой стороны относится к зоне ледообразования и может содержать ошибки. Область 4 может соответствовать зоне расширения потока АЦТ. Она характеризуется малым изменением межгодовых значений ТПО, что может объясняться минимальным количеством вихрей на 1° (Chelton et al., 2011) – 7 при среднем значении 12 вихрей на 1°, в пределах области 4 (Рисунок 1.6).

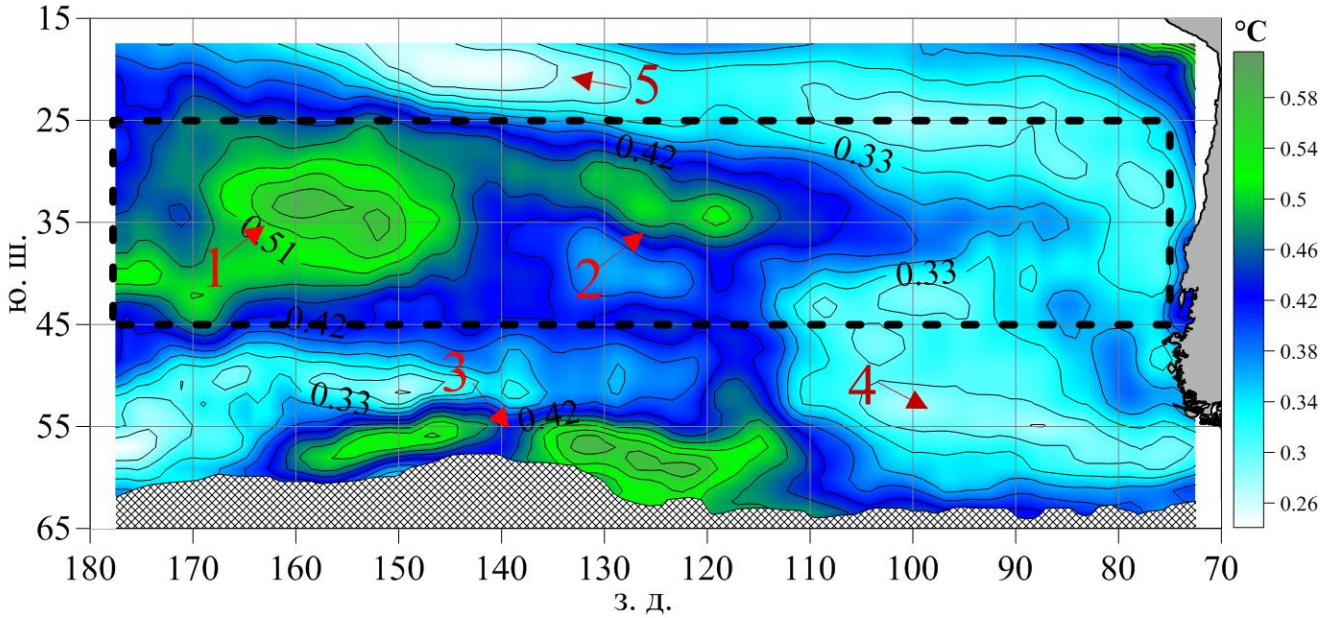


Рисунок 1.6 – Распределение СКО ТПО за период с 1982 по 2012; пунктирным контуром выделена область, в которой, с 1978 по 1991 гг. было выловлено 13 млн. т. тихоокеанской ставриды; цифрами показаны области максимальных (1, 2, 3) и минимальных (4, 5) значений СКО (рассчитано на основе Integrated Global…); на юге заштрихована область максимального выхода льда на север в период 2000-2012 г. (октябрь 2009 г.)

Область, которой в данном исследовании отведено ключевое внимание, т.е. 25-45° ю.ш., 75-180° з.д. (Рисунок 1.6), можно охарактеризовать как область с высоким межгодовым изменением ТПО. Важно отметить, что данная область согласно работе (Chelton et al., 2011) характеризуется как область с концентрацией вихрей 15-25 штук на 1°, что превышает средний показатель (12 вихрей на 1°). Следовательно, в данной области происходит активный процесс перемешивания. Одна из составляющих этого процесса − подъем вод; это важно для данного исследования, поскольку поднятие вод означает их перемещение из промежуточных слоев в поверхностные (в слои фотосинтеза) с

последующей ассимиляцией биогенных веществ, содержащихся в АПрВ и дальнейшим повышением продуктивности.

С целью изучения межгодовых особенностей ТПО в таком значительном по площади районе как ЮТО, необходимо выделить классы которые могли бы отображать основные особенности временной изменчивости всего поля ТПО.

Для исследования межгодовой изменчивости ТПО применялся метод кластерного анализа с целью разделения района на подрайоны, с дальнейшим осреднением межгодовых значений ТПО для выделенных подрайонов. Данный метод применялся ранее в работах (Сирота, Андрианов, 2002; Гордеева, 2008). Для анализа была подготовлена матрица дискретностью 2° которая охватывает большую часть ЮТО. Размер матрицы составил 53×24 узла, временной период 1982-2012 гг. При выполнении кластерного анализа использовался иерархический алгоритм Уорда, в качестве меры близости применялась евклидова метрика, объектами классификации являлись узлы регулярной сетки на поверхности океана в ЮТО, а признаками – ряды межгодовых значений ТПО в этих узлах.

В результате применения кластерного анализа было принято решение о разбиении района на 4 класса (Рисунки 1.7, 1.8). Данный выбор объясняется тем, что таким образом район подразделяется на климатические пояса и у нас есть возможность отслеживать изменчивость ТПО в каждом поясе (Рисунок 1.9) и сравнивать ее.

Классификация района по межгодовым значениям ТПО, как и ожидалось, дала четкое подразделение района согласно природным поясам: 1 класс – субтропический пояс, 2 – умеренный, 3 – субантарктический, 4 – антарктический.

На графиках отражающих межгодовую изменчивость (Рисунок 1.9) прежде всего отмечается наличие четкого тренда для всех четырех классов. Для первого и второго (субтропического и умеренного) тренд возрастающий, для третьего и четвертого (субантарктический и антарктический) – убывающий. Это подтверждает теорию о теплообмене в океане, которая гласит, что приток тепла в тропической части океана компенсируется его оттоком в высоких широтах (Каган, 1992; Steward, 2008).

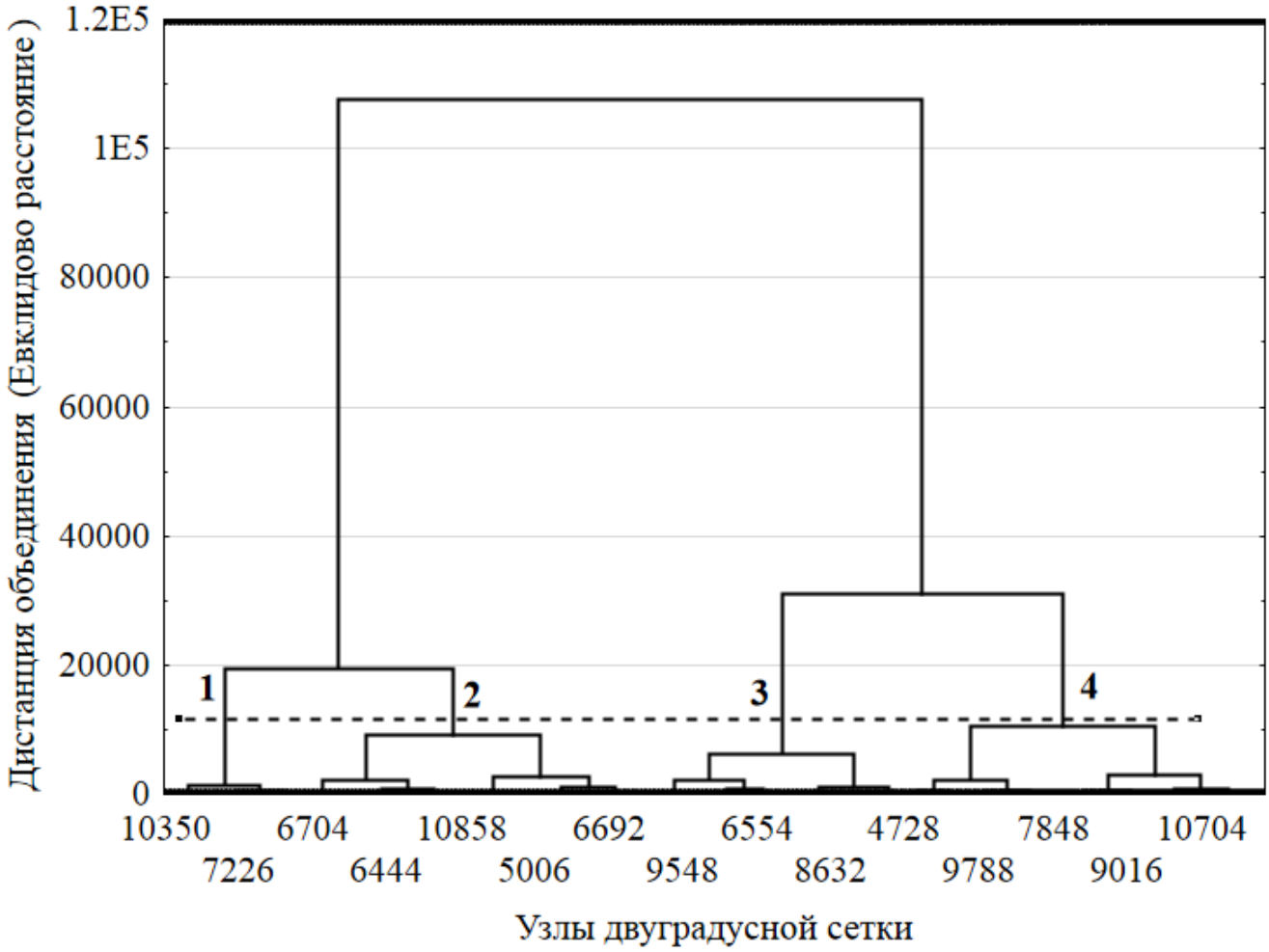


Рисунок 1.7 – Дендрограмма иерархической классификации среднегодовых рядов ТПО по пространству методом Уорда (рассчитано на основе Integrated Global…)

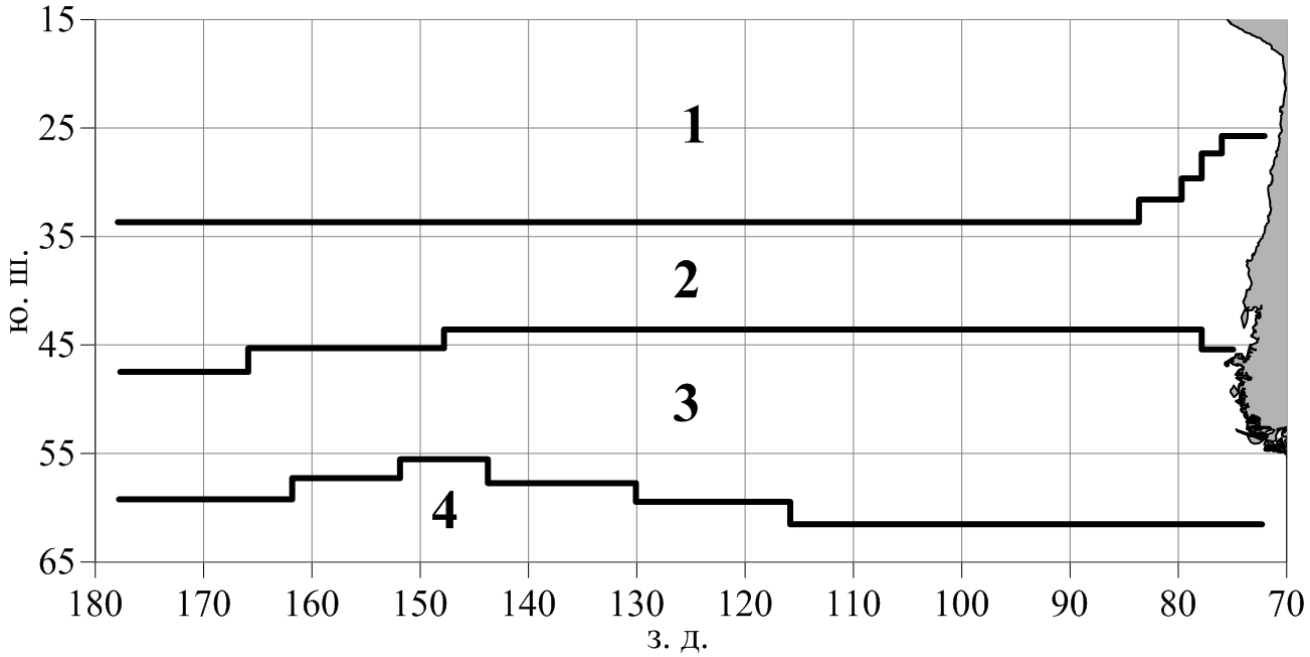


Рисунок 1.8 – Районирование ЮТО по результатам классификации межгодовых значений ТПО по пространству; цифры означают номер класса (рассчитано на основе Integrated Global…)

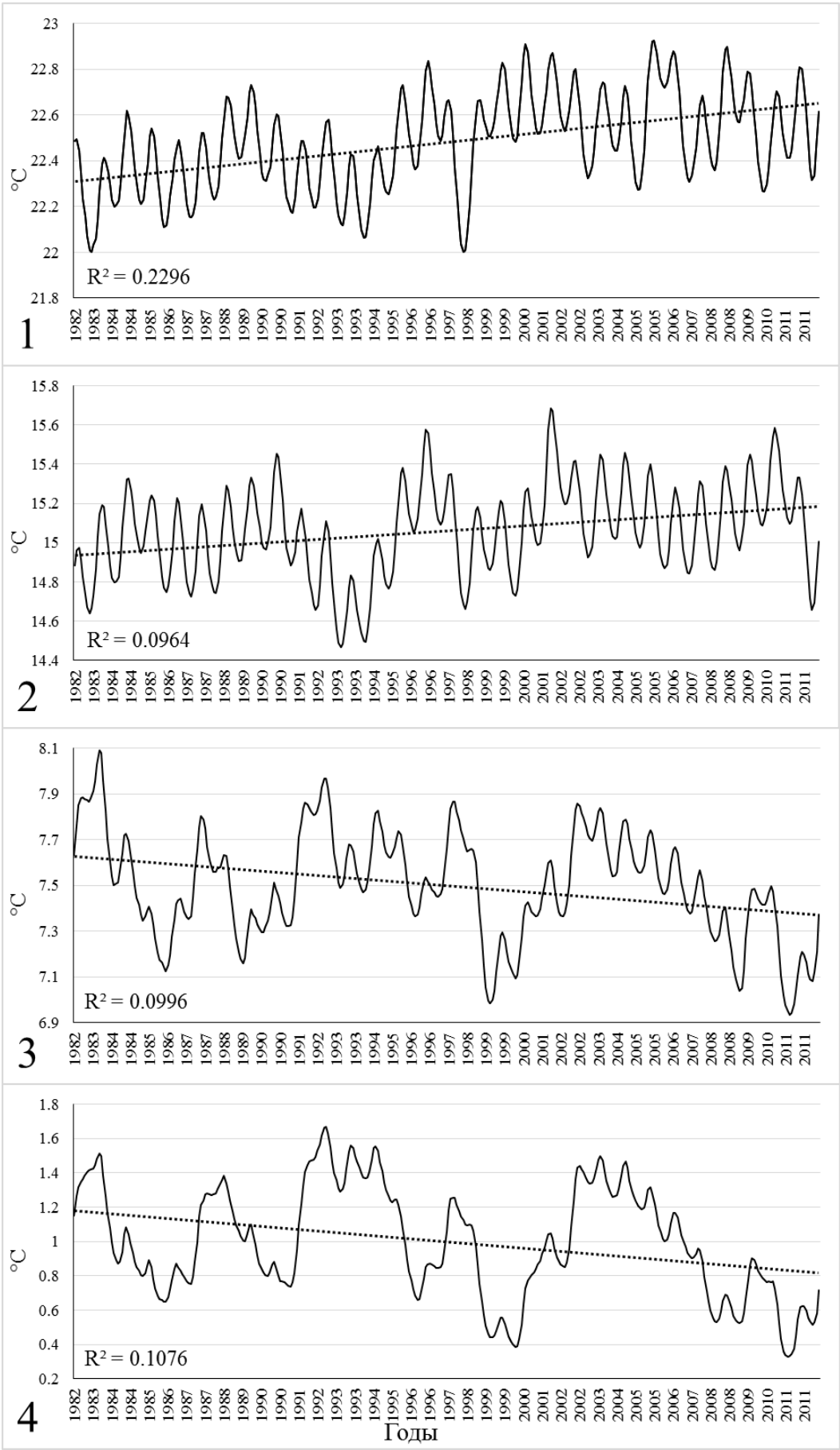


Рисунок 1.9 – Межгодовая изменчивость ТПО осредненная по классам, номера на рисунках означают номер класса (см. Рисунок 1.8) (рассчитано на основе Integrated Global…)

Поиск статистической связи между рядами четырех классов показал наличие парной связи между первым-вторым классами (r = 0,77) и третьим-четвертым (r = 0,89); между несмежными классами (1-3, 2-4, соответственно), никакой связи не обнаружено (Таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Корреляционная матрица рядов межгодовой изменчивости четырех классов

Классы	1	2	3	4
1	1	**0,77**	-0,13	-0,21
2		1	0,04	-0,16
3			1	**0,89**
4				1

Явление разнонаправленных трендов для 1-2 и 3-4 классов схоже с зависимостью в общем ходе поля атмосферного давления (подраздел 1.1.2) которую отображает ее первая ГК (Рисунки 1.3, 1.4) – при увеличении давления над субтропиками и умеренным поясом наблюдается его падение в зоне субантарктической депрессии. Проведенная кросскорреляция между рядами первых ГК поля давления и ТПО показала наличие высокой связи (r = 0,8) с отрицательным лагом температуры величиной 3 месяца (Рисунок 1.10). Полугодовой сдвиг имеет разницу в корреляции 0,05, что не является существенным. Т.е., при повышении атмосферного давления на уровне моря в субтропическом и умеренном поясах происходит повышение температуры в той же области через 3 месяца; в Субантарктике и Антарктике при падении давления происходит понижение ТПО через тот же промежуток времени. Это подтверждает выдвинутое в работе (Лаппо и др., 1990), утверждение: по термическим параметрам атмосфера опережает океан, и максимальная временная задержка составляет 3 месяца (Лаппо и др., 1990). Также запаздывание наблюдается и в других параметрах, например, в годовом ходе меридионального переноса тепла в океане, тоже наблюдается 3-х месячное отставание от переноса тепла в атмосфере (Carrissimo et al., 1985; Лаппо и др., 1990). Такое запаздывание в первую очередь вызвано тем фактом, что океан обладает большей инерцией по сравнению с атмосферой и для того что бы нагреется ему требуется больше времени. Это так же можно объяснить следующим образом: рост атмосферного давления происходит по причине нагревания атмосферы, т.е. давление прямо пропорционально температуре. Что бы избежать постоянного нагревания (сохранить систему в состоянии

равновесия) атмосфера передает часть тепла океану, а поскольку океан является более инертной средой, для поглощения переданного ему тепла необходимо время которое и образует отставание.

Поскольку в работе не считается количество тепла, которое атмосфера передает океану, то целесообразней принимать первое объяснение. И все-таки нельзя отрицать факт наличия стохастической связи, который показан на Рисунке 1.10в, и который говорит об опережении системой атмосферы систему океана (Рисунки 1.10а, 1.10б).

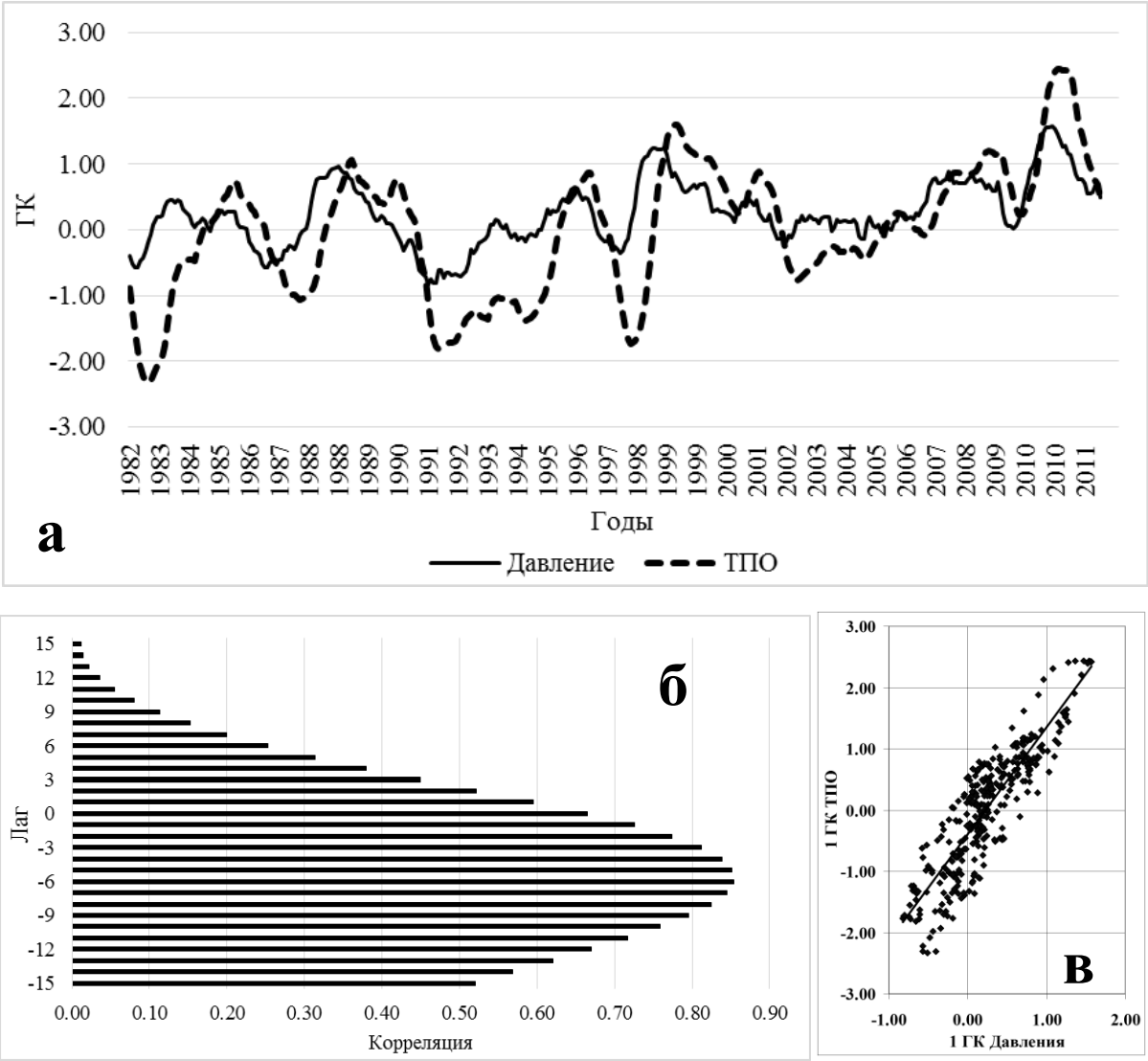


Рисунок 1.10 – Сравнение межгодовой изменчивости первых ГК поля давления и ТПО; а – межгодовое изменение первых ГК поля давления и ТПО; б – значения кросскорреляционной функции на разных лагах ряда ТПО; в – поле корреляции рядов первых ГК поля давления и ТПО (рассчитано на основе National Centers…, Integrated Global…)

При сравнении распределения нагрузки первой ГК ТПО и СКО (Рисунок 1.11), обнаружилось совпадение областей высоких значений, что может говорить о

подверженности этих областей прямому влиянию поля давления. Похожими методами пользовались в работе (Малинин, Гордеева, 2009), где значение зональной и меридиональной компонент поля давления коррелировалось с различными параметрами в каждой точке. В данной диссертации производится поиск связи на уровне главных компонент, т.е. между рядами общей межгодовой изменчивости поля атмосферного давления и ТПО ЮТО.

Для подтверждения наличия связи проводилась проверка относительно рядов фактических измерений ТПО и атмосферного давления сглаженных скользящей средней для удаления годового хода. Для проверки выбраны точки, координаты которых соответствуют максимальным нагрузкам ГК отдельно для поля давления и ТПО: 27,5° ю.ш., 120° з.д. и 26,5° ю.ш., 140,5° з.д. соответственно (Рисунок 3.6). Кросскорреляция рядов с отрицательным лагом температуры равным 3 месяцам показала значимую корреляцию (r = 0,8) и подтвердила связь.

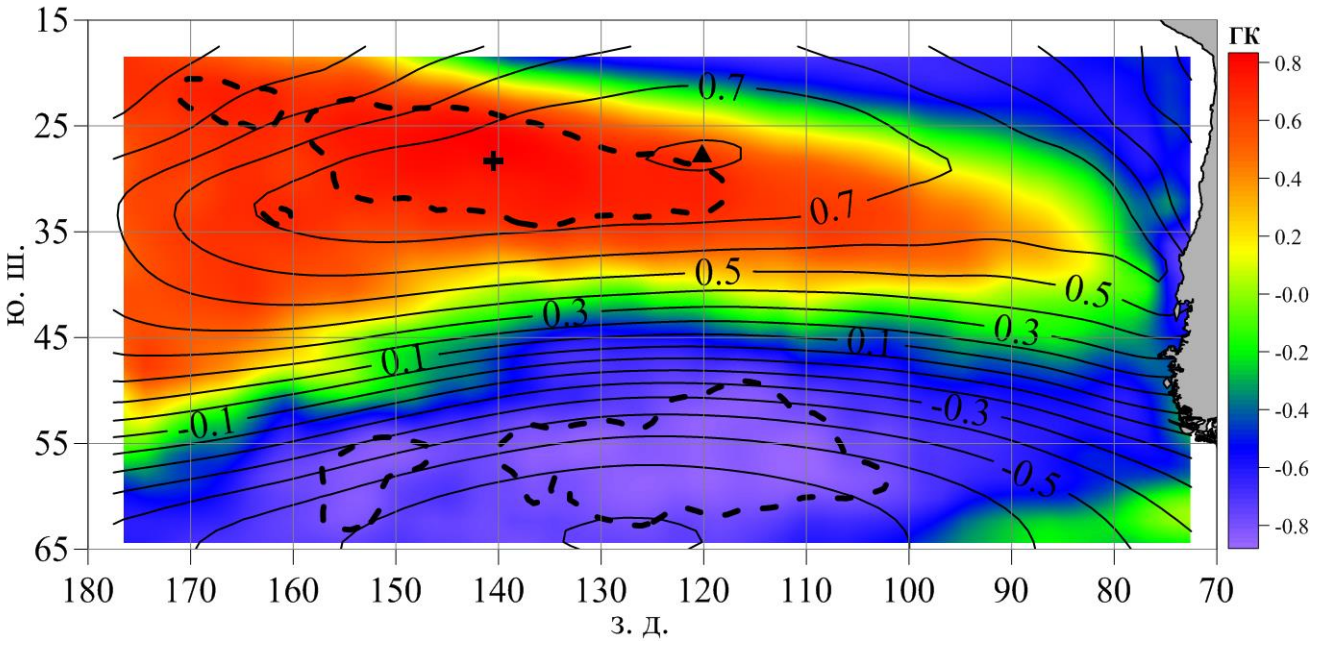


Рисунок 1.11 – Схема нагрузки первой ГК ТПО – цветом (рассчитано на основе данных из Integrated Global…) и изолинии первой ГК поля давления (рассчитано на основе National Centers…); ▲ – точка максимальной нагрузки первой ГК поля давления, + – точка максимальной нагрузки первой ГК ТПО; пунктирной линией обведены области поля ТПО в которых возможно прогнозирование его межгодовой изменчивости

Обобщая, можно сделать вывод, что межгодовая изменчивость поля ТПО ЮТО стохастически зависит от изменчивости поля атмосферного давления, что подтверждает сложившиеся представления о том, что крупномасштабные процессы в океане и

атмосфере протекают неразрывно. Наличие именно стохастической связи (Рисунок 1.10в) говорит о единой причине изменчивости поля ТПО и атмосферного давления. Указанной причиной является количество солнечной радиации. Кроме того, на Рисунке 3.6. пунктирной линией были обведены области, в пределах которых возможно прогнозирование (заблаговременность – 3 месяца) межгодовой изменчивости поля ТПО на основе первой ГК поля давления. В области с высокими положительными значениями нагрузки первой ГК ТПО будет наблюдаться прямая зависимость от первой ГК поля давления, а в области с высокими отрицательными нагрузками − обратная.

1.2 Океанологические условия

1.2.1 Основные системы течений

Циркуляцию в ЮТО можно охарактеризовать как антициклоническую. Ее основные течения заключены в южный субтропический круговорот Тихого океана (Бурков, 1972). Его основными течениями являются: Перуанское течение, Южное пассатное течение, Восточно-Австралийское течение, Южно-Тихоокеанское течение (Рисунок 1.12). Нужно сразу отметить, что АЦТ не входит в общую циркуляцию круговорота, но упоминается, поскольку в значительной степени влияет на район исследования.

Воздействию АЦТ подвержена южная часть ЮТО. У пролива Дрейка АЦТ разделяется на 2 ветви. Первая ветвь уходит в пролив Дрейка и продолжается с основным потом АЦТ. Вторая ветвь уходит на север, вдоль западного побережья Южной Америки, и продолжается в виде Перуанского течения (течение Гумбольдта). Оценка переноса, выполненная в работе (Корт, 1968) показывает, что значение переноса Перуанское течение составляет 10 Sv (1 Sv = 10^6 м^3/с).

Перуанское течение является восточной частью Тихоокеанского субтропического круговорота. Оно относится к группе восточных пограничных течений меридионального направления (Wooster, Reid, 1963). В прибрежной зоне (до изобаты 100 м) Перуанское

течение под воздействием пассатов, дующих вдоль побережья, образуется прибрежный аппвелинг или подъем глубинных холодных вод (Бурков, 1980).

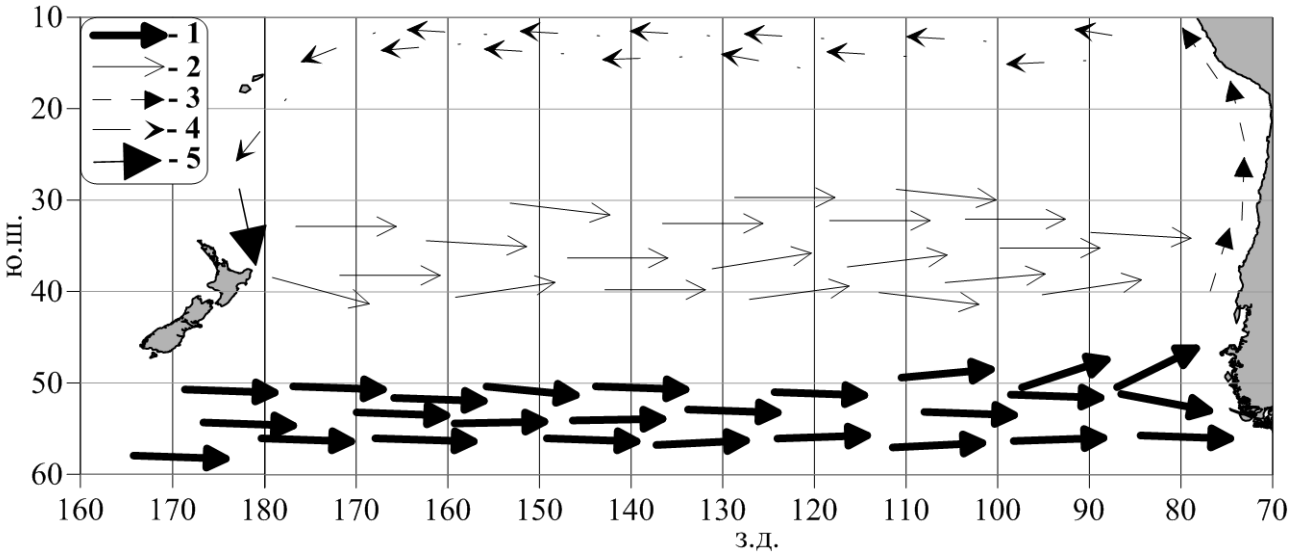


Рисунок 1.12 – Общая схема основных течений ЮТО: 1 – АЦТ, 2 – Южно-Тихоокеанское течение, 3 – Перуанское течение, 4 – Южное пассатное течение, 5 – Восточно-Австралийское течение

В целом Перуанское течение можно охарактеризовать следующими параметрами: 1) температура поверхностного слоя меньше, чем температура поверхностного слоя в океане; 2) высокая концентрация биогенных элементов в поверхностном слое способствует образованию зоны высокой биологической продуктивности.

На севере Перуанское течение плавно переходит в Южное пассатное. Оно занимает огромную площадь по сравнению с Перуанским течением и имеет значительно больший перенос, 90-100 Sv (Корт, 1968). На севере течение ограничено северной тропической конвергенцией, а на юге − южной субтропической конвергенцией (Корт, 1968). Менее всего течение выражено на западе, где оно не имеет прямой связи с Восточно-Австралийским течением.

Восточно-Австралийское течение – наименьшее звено южного субтропического круговорота. Течение становится четко выраженным потоком только южнее 30° ю.ш. Оно течет на юг, до оконечности Австралии, и поворачивает на северо-восток, образуя меандр (Корт, 1981). По оценкам Буркова перенос его составляет 20 Sv, что подтверждается работой (Terence et al., 2011), в которой значение переноса составляет около 22,3 Sv, и характеризуется увеличением в южном направлении.

Продолжением южного субтропического круговорота является Южно-Тихоокеанское течение. С севера оно ограничено южной субтропической конвергенцией, с юга граница течения в поверхностных слоях определяется трудно (Корт, 1968). Характерной его особенностью является уменьшение ширины с глубиной.

Стоит заметить, что в работе (Roemmich et al., 2005) отмечается увеличение скорости общего вращения южного субтропического круговорота на протяжении последних 12 лет, которое, согласно модели исследования, могло произойти в результате потепления климата и истощения озонового слоя.

На юге сильное влияние оказывает АЦТ − сильнейшее течение Южного полушария, которое проходит через три океана: Индийский, Атлантический и Тихий. В Тихом океане, из-за отсутствия препятствий на протяжении около 5 000 миль это течение наиболее развито. Оно простирается до глубины 2 000-4 000 м, в результате, имеет огромное поперечное сечение тока и переносит огромное количество воды (Klinck, Nowland, 2001). В работе (Knauss, 1996) производилось исследование переноса в районе к югу от Новой Зеландии, т.е. у входа в Тихоокеанский сектор. Исследование показало, что средний перенос АЦТ в данном секторе составляет 100-150 Sv, который может изменятся на 50 Sv в месячном масштабе (Смирнов и др., 2004). Такая изменчивость связана с приливами, мезомасштабными вихрями, инерционным движением и крупномасштабным изменением напряжения ветра (Саруханян, 1980).

Согласно работе (Лебедев, Шауро, 2011) северная граница АЦТ проходит по линии максимальных значений интегральной плотности аномалии уровня океана, что говорит о сильном меандрировании течения в этом районе. Это обусловлено рельефом дна и ветровыми особенностями данного региона.

1.2.2 Фронты и фронтальные вихри

Океанический фронт – наклонная поверхность раздела между водами с различными физико-химическими и динамическими характеристиками, пересечение которой с поверхностью океана образуют линию фронта. В качестве отличительного признака фронта на поверхности и в глубинах океана обычно принимаются максимальные градиенты океанологических характеристик.

Согласно В.М. Грузинову (1986) в исследуемой части ЮТО, в пределах «ставридного пояса» между 25-45° ю.ш. в течение года наблюдаются две фронтальные зоны – Южный субтропический фронт (ЮСтФ) на востоке (между 85-120° з.д.) и Южный субполярный фронт (ЮСпФ), на западе – между 140-180° з.д. (Рисунок 1.13).

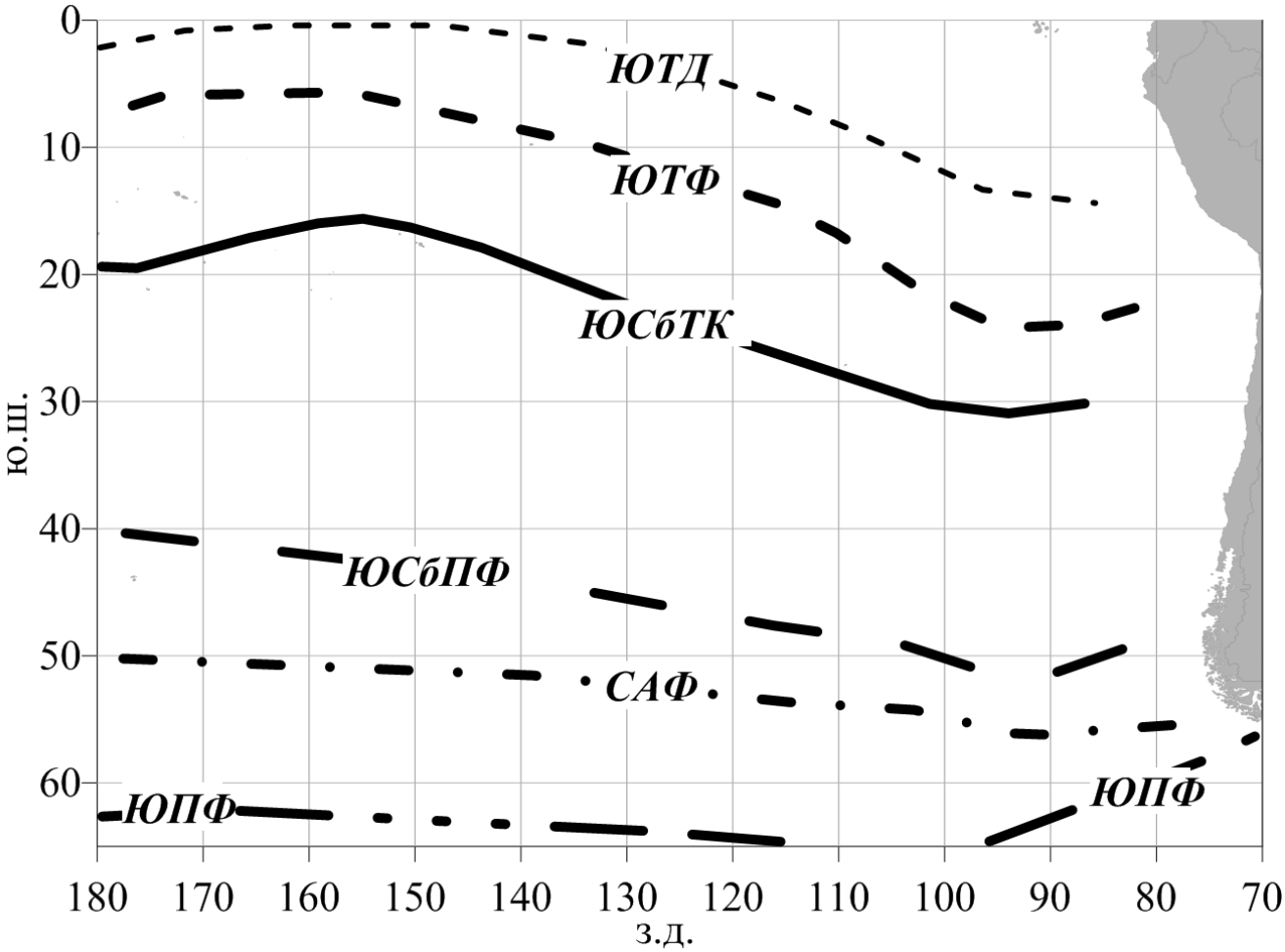


Рисунок 1.13 – Конфигурация главных океанических и динамических фронтов. ЮТД – южная тропическая дивергенция, ЮТФ – южный тропический фронт, ЮСбТК – южная субтропическая конвергенция; ЮСбПФ – южный субполярный фронт (в другой литературе – САФ), ЮПФ – южный полярный фронт (Грузинов, 1986); САФ (Артамонов и др., 2009)

У других авторов (Артамонов и др., 2009; Кошляков, Тараканов, 2005; Belkin, Gordon, 1996), ЮСпФ также называют САФ. Субантарктический фронт является наиболее важным для данного исследования, однако углубленное изучение роли САФ в проникновении вихрей в субтропическую область не проводится, поскольку не стоит такой задачи.

Согласно работе (Артамонов и др., 2009), в западной части ЮТО (170° з.д.) САФ занимает устойчивое положение над хребтом Маккуори (51° ю.ш.). Между 170° и 140° з.д.

фронт проходит вдоль южной части Восточно-Тихоокеанского поднятия (50-53° ю.ш.). Восточнее, САФ смещается к северу, сезонные колебания его широтного положения увеличиваются на 5° (44-49° ю.ш.).

САФ является областью образования повышеной продуктивности района, по нескольким причинам: во-первых, САФ – область смешения субтропических и субантарктических вод; во-вторых, имеют место вихри разного знака, которые обеспечивают как подьем так и опускание вод.

Как уже упоминалось, в работах (Голивец, Кошляков, 2003; 2004) развивается вихревая теория образования слоя АПрВ за счет циклонических вихрей отделившися от САФ. Особенностью зоны конвергенции (между САФ и южным полярным фронтом) является наличие каждого механизма (фронтальные вихри; вихри порожденные внутренней бароклинной неустойчивостью; вихри порожденные атмосферным воздействием) образования вихрей, за исключением вихрей порожденных топографическими эффектами (Каменкович и др., 1978). Согласно (Голивец, Кошляков, 2003) большинство фронтальных вихрей образуется в результате продольного расщепления фронта (совпадающей с фронтом струи геострофического течения) и дальнейшего отрыва его части, а не всего фронта в целом. Количество образованных таким образом вихрей, за период с 1996 по 2000 в среднем составляется 24, а их вклад в баланс солезапаса АПрВ составляет $-14{,}7\times10^{12}$ кг. В дополнении следует сказать, что объем антарктической воды переносимый одним вихрем, радиусом 100 км^2, пересекшим САФ и площадь которого возможно посчитать формулой πR^2, согласно работе (Голивец, Кошляков, 2003) равняется $2{,}2\times10^{13}$ м^3.

1.2.3 Водные массы

В ЮТО можно выделить поверхностные и подповерхностные воды. Водные массы до промежуточных слоев формируются на поверхности самого океана; глубинные в основном приносятся извне; придонные частично формируются в тихоокеанском секторе Антарктики. Появление различных по параметрам поверхностных водных масс объясняется разницей климатических параметров (температура, осадки, испаряемость)

(Полосин, 1969) и их изменением при продвижении с севера на юг. Среди поверхностных водных масс можно выделить:

1) Воды минимальной солености (< 33,5 ‰), занимающие Панамский залив и часть межпассатного противотечения к востоку от 120° з.д., прослеживается до глубины 50-100 м. Температура воды в течение всего года высокая 27-29 °С. Эти условия типичны для экваториального климата.

2) Воды максимальной солености между 100-150° з.д. и 12-25° ю.ш (36-36.62 ‰) прослеживается до глубины 600 м. Температура воды в течение всего года 26-28 °С. Эти условия типичны для тропического климата.

3) Воды минимальной солености у побережья Чили и к югу от 35° ю.ш. (< 34 ‰). Температура летом 10-16 °С, зимой 5-13 °С. Распреснение вызывается осадками и материковым стоком с горного склона Анд, особенно значительно осенью. На глубине более 100 м данные воды смешивается с водами области 4.

4) Воды минимальной солености к югу от 60° ю.ш. (< 34 ‰). От южно-чилийской области 3, область 4 отделяется полосой вод с соленостью более 34 ‰, заметной в течение всего года. Температура в течение года меняется слабо и равна около 2 °С. С глубиной, воды области 4 смещаются к северу под воды области 3 и перемешиваются с ними.

Устойчивость в течение года температуры в областях 1, 2, 4 способствует образованию в них трех важнейших водных масс – экваториальной, тропической и антарктической. Первая имеет наименьшую в Тихом океане плотность (< 21,5 кг/м^3) и всегда остается поверхностной; вторая – приблизительно 24,0 кг/м^3 – на западе и севере очага опускается под экваториальные воды и становится подповерхностной, причем на севере образует резко выраженный в поверхностном слое (до 50 м) экваториальный фронт, протягивающийся от 5° ю.ш. у побережья Эквадора к экватору и далее к Галапагосским островам; третья, высокой плотности (> 27,5 кг/м^3) – образуется там, где антарктические воды опускаются в очаге на глубину около 1 000 м. и между горизонтами 600-1 200 м распространяются во всем ЮТО.

Подповерхностные водные массы лучше всего рассмотрены в серии статей (Кошляков, Тараканов, 2003, 2005), в основу которых был положен эксперимент WOCE. Поскольку при решении задач промысловой океанологии, связанных с выявлением причин формирования повышенной биологической продуктивности на низших трофических уровнях, обычно рассматриваются процессы, происходящие в верхнем 600-

метровом слое, рассмотрению подлежат АПрВ, СМВ, слой кислородного минимума (СМК).

АПрВ занимает верхний слой океана в южной полярной фронтальной зоне (ЮПФЗ) между САФ на севере и южным полярным фронтом на юге. В Тихом океане АПрВ прослеживается примерно до 15° ю.ш (Кошляков, Тараканов, 2005). В ЮПФЗ АПрВ формируется в результате трансформации антарктической поверхностной воды, поступающей в ЮПФЗ в поле направленного на север потока чисто дрейфового течения, вследствие существенного превышения осадков над испарением в этой зоне океана (Sloyan, Rintoul, 2001). Проникновение образующейся таким образом воды из верхнего слоя океана в зоне к югу от САФ в промежуточный слой к северу от САФ осуществляется вследствие отрыва направленных к северу циклонических меандров САФ и дальнейшего затухания формирующихся таким образом вихрей, в ходе которого вода с относительно малой соленостью, следуя за понижением куполов изопикнических поверхностей в вихрях, опускается из верхнего слоя океана в промежуточный. Дальнейшее распространение АПрВ на всю акваторию ЮТО происходит в поле крупномасштабной антициклонической циркуляции вод в этой части океана. АПрВ характеризуется вертикальным соленостным минимумом и значительным содержанием кислорода и биогенов (Russell, Dickson, 2003), и преимущественно наблюдаются в океане южного полушарии в слое 600-1 100 м (Hanawa, Talley, 2001). На поверхности океана южной границей АПрВ является южный полярный фронт, северной границей – САФ. Глубина нижней границы АПрВ в открытой части океана к северу от САФ изменяется преимущественно в зональном направлении, уменьшаясь в направлении на восток от 1 400-1 500 м на 170° з.д. до 1 000-1 100 м у восточной окраины океана. Глубина верхней границы АПрВ в этой части океана увеличивается к западу и к северу, характеризуясь минимумом 600 м в зоне непосредственно к северу от САФ на восточной окраине океана и максимумом 850 м на 170° з.д. (Кошляков, Тараканов, 2005).

СМВ (тут скорее всего имеется ввиду подповерхностная промежуточная водная масса, выделенная в В.И. Кукса в 1983), формируется в результате зимней конвекции в зоне океана, примыкающей к САФ с севера. Проникновение СМВ из верхнего слоя океана в этой зоне в располагающийся непосредственно над АПрВ промежуточный слой далее к северу осуществляется в процессе субдукции, обусловленной конвергенцией чисто дрейфового течения в указанной зоне к северу от САФ и дальнейшим изопикническим

вовлечением опускающейся воды в антициклоническую квазигеострофическую циркуляцию верхнего слоя главного термоклина ЮТО. СМВ характеризуется максимумом концентрации растворенного кислорода и квазиоднородностью по плотности (Кошляков, Тараканов, 2005). СМВ занимает нижний слой пикноклина субтропического круговорота южного полушария и прослеживается от субантарктического фронта до экватора (Corinne et al., 2011). В открытой части океана, к востоку от 180° з.д. глубина распространения уменьшается от 800 м на западе до 550 м на востоке.

Слой кислородного минимума ограничен снизу слоем СМВ, сверху − субантарктической поверхностной водой и наблюдается повсеместно в ЮТО к северу от 45° ю.ш. Южная граница СМК располагается вблизи 45° ю.ш. и по глубине на горизонте около 200 м, резко уходит к северу в крайне восточной части этой области вследствие вытеснения СМК распространяющейся на юг южно-тихоокеанской подповерхностной воды. На 32° ю.ш. СМК занимает диапазон глубин от 200 до 500 м.

1.3 Факторы, влияющие на продуктивность вод южной части Тихого океана

Под продуктивностью водоема принято понимать производство органического вещества всем сообществом организмов данного океана, моря или другой акватории или, другими словами, способность водоема обеспечивать тот или иной темп воспроизводства организмов, за счет повышенной продуктивности. Т.о. в водоеме развиваются организмы различных трофических уровней, важными из которых являются планктон и стоящие над ним промысловые объекты (Промысловая океанография, 1986).

Наиболее информативной работой, которая касается повышения продуктивности в открытом океане является работа Е.Б. Чернявского (1976). В ней наиболее коротко и информативно описана природа возникновения продуктивных зон в открытой части океана.

Известно, что формирование повышенной промысловой продуктивности будет происходить только лишь при определенных условиях. Во-первых, необходимо устойчивое существование благоприятной для промысловых организмов кормовой базы, которая основана на благоприятных биохимических условиях для развития организмов

низших трофических цепей (планктон). Во-вторых, нужно препятствовать выносу икры и личинок промысловых организмов за пределы промысловых районов (Бендик, Яковлев, 2008).

В области, примыкающей к границе морской зоны Перу и Чили, вышеобозначеные условия формируются под влиянием адвекции вод Перуанского течения и подъемов глубинных вод, вызванных юго-восточным пассатом (Промысловый атлас…, 1992), приводящих к повышенным концентрациям биогенных элементов в фотическом слое и, тем самым, создающих благоприятные условия для развития фитопланктона (Богданов и др., 1982). Здесь вследствие подъема вод отмечаются более высокие величины вертикальных градиентов всех гидрохимических элементов и их вынос в поверхностные слои, создающие благоприятные условия для массового развития фитопланктона.

Благоприятные биохимические условия в океанической части (Рисунок 1.14) развиваются за счет взаимодействием нескольких географических факторов. Во-первых, это близость области Антарктики, где наблюдается повышенная концентрация биогенных элементов (Малинин, Гордеева, 2009). Такое распределение биогенов, объясняется уменьшением количества солнечной радиации при продвижении на юг и как следствие замедление процесса фотосинтеза что приводит к сохранению количества биогенов.

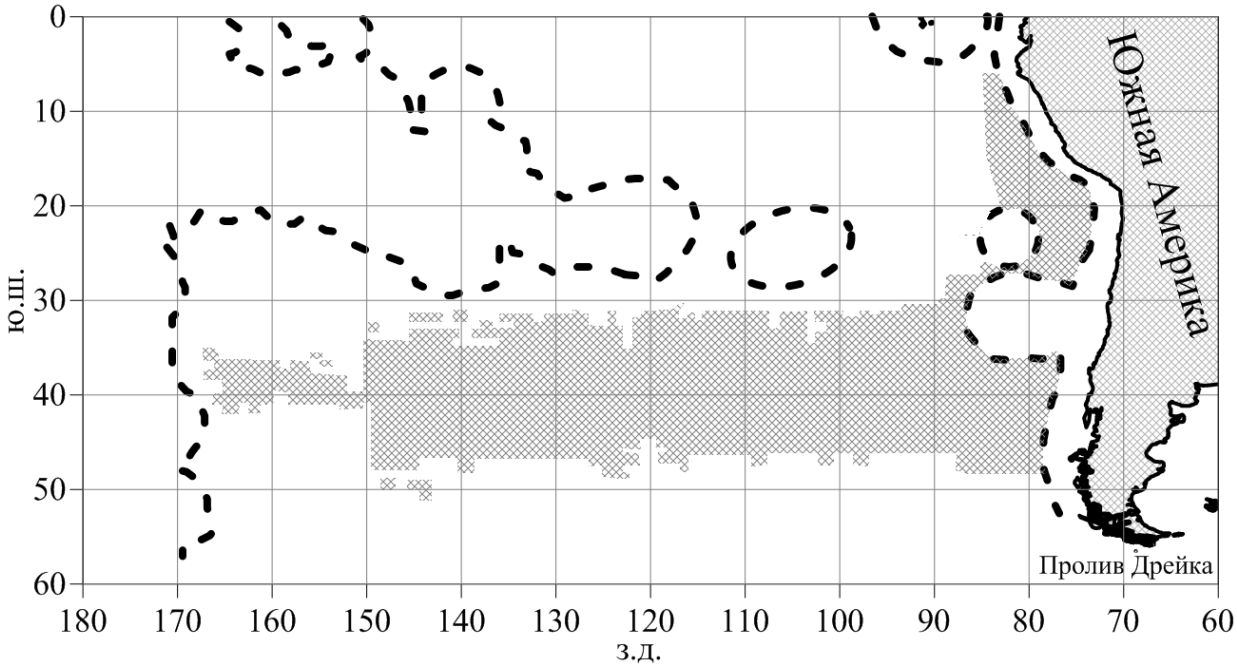


Рисунок 1.14 – Районы промысла отечественного флота в период с 1978 по 1991 гг.; толстая пунктирная линия – исключительные экономические зоны; штриховкой выделены квадраты тралений с уловом более 5 тонн/ час (Чернышков, Дерябин, 2008)

Во-вторых, это близость САФ, который является границей между субантарктическими водами и водами умеренных широт, а так же характеризуется наличием в пределах своей фронтальной зоны большого количества интенсивных мезомасштабных вихрей. Последнее объясняется природными условиями зоны конвергенции, в которой прослеживаются все механизмы образования океанических вихрей (за исключением топографического): фронтальный механизм из-за наличия АЦТ; механизм бароклинной неустойчивости из-за смешения менее плотных вод умеренных широт и более плотных антарктических вод; атмосферный механизм из-за наличия над акваторией интенсивного западного переноса. За счет этих факторов вода области Антарктики беспрепятственно проникает в ЮТО и способствует повышению биологической продуктивности вод умеренных широт. Распределение по акватории ЮТО происходит за счет крупномасштабных круговоротов (Рисунок 1.16б) которые были обнаружены в работе (Кошляков, Тараканов, 2005). По теории за счет этих круговоротов образуется функциональные единицы запаса (Рисунок 1.15) в рамках которых происходит развитие промысловых сообществ.

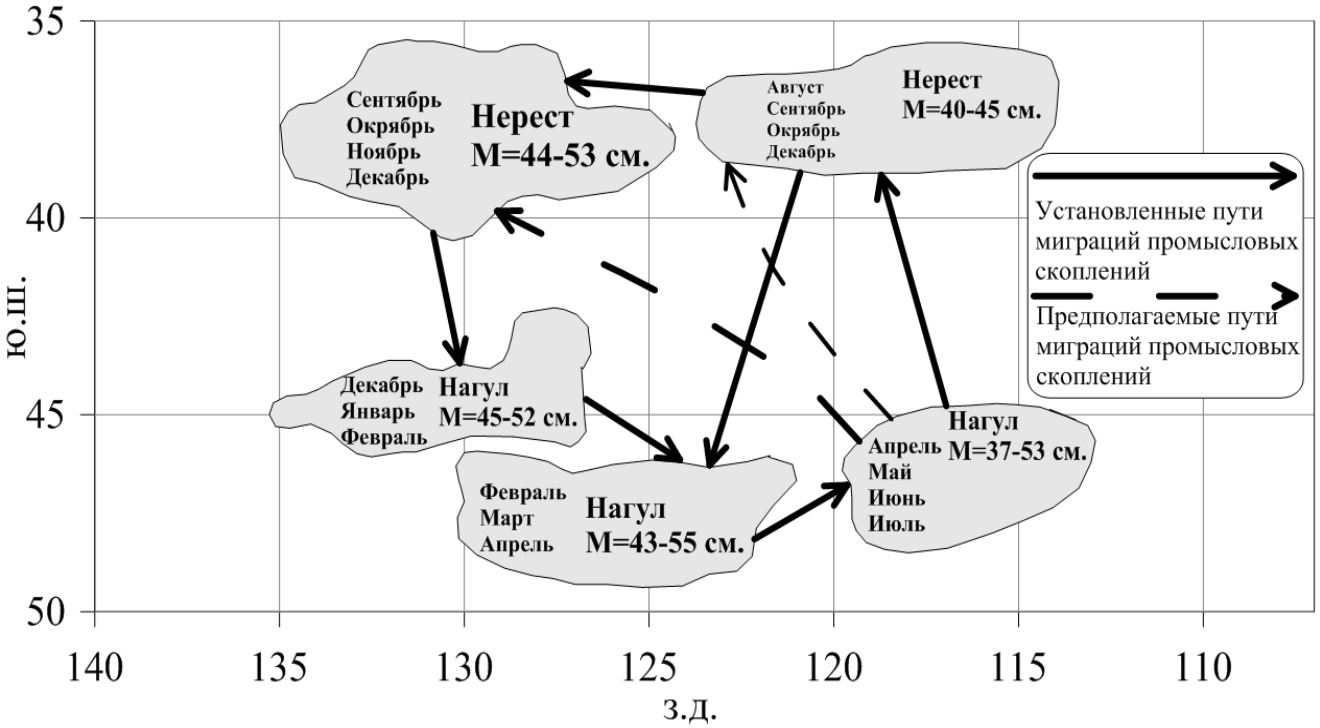
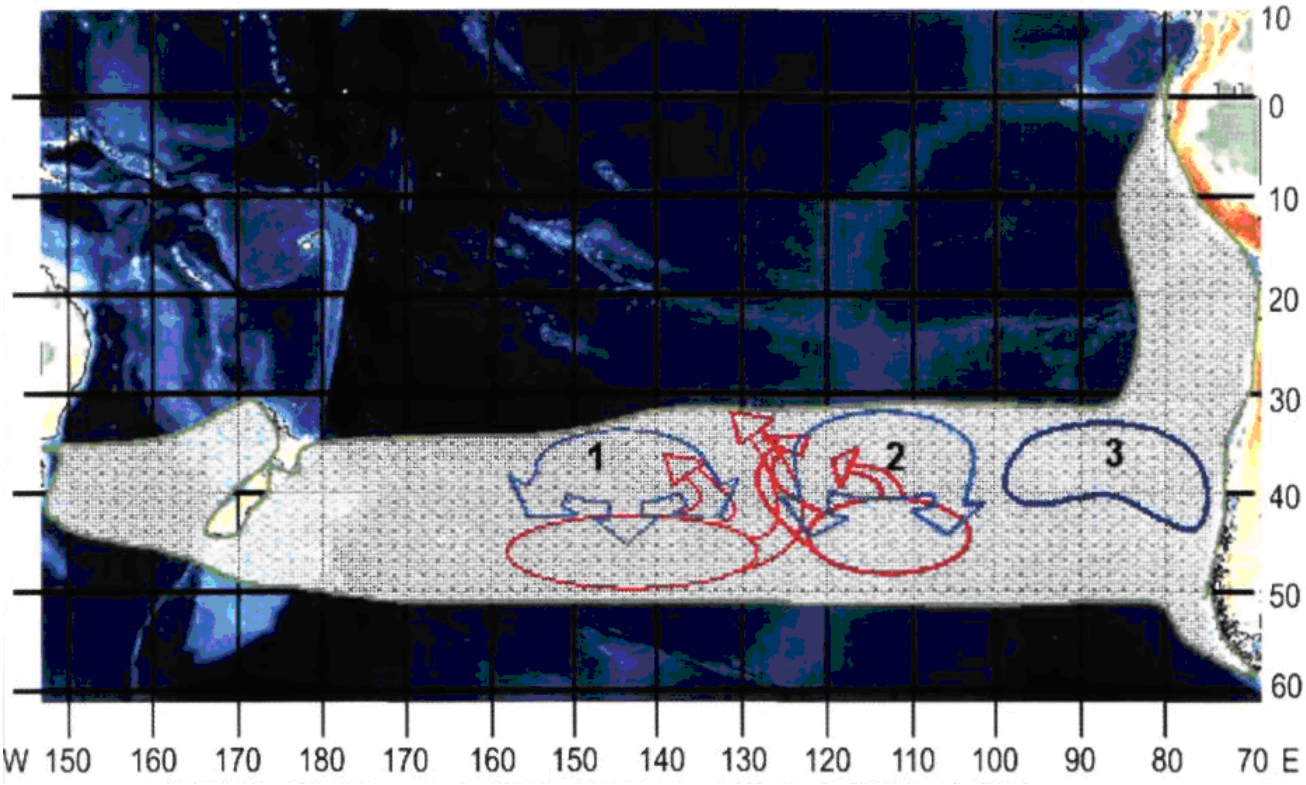


Рисунок 1.15 – Функциональная структура «центрального» запаса ставриды в ЮТО (по данным наблюдений в 1981-1991 гг.)

а



б

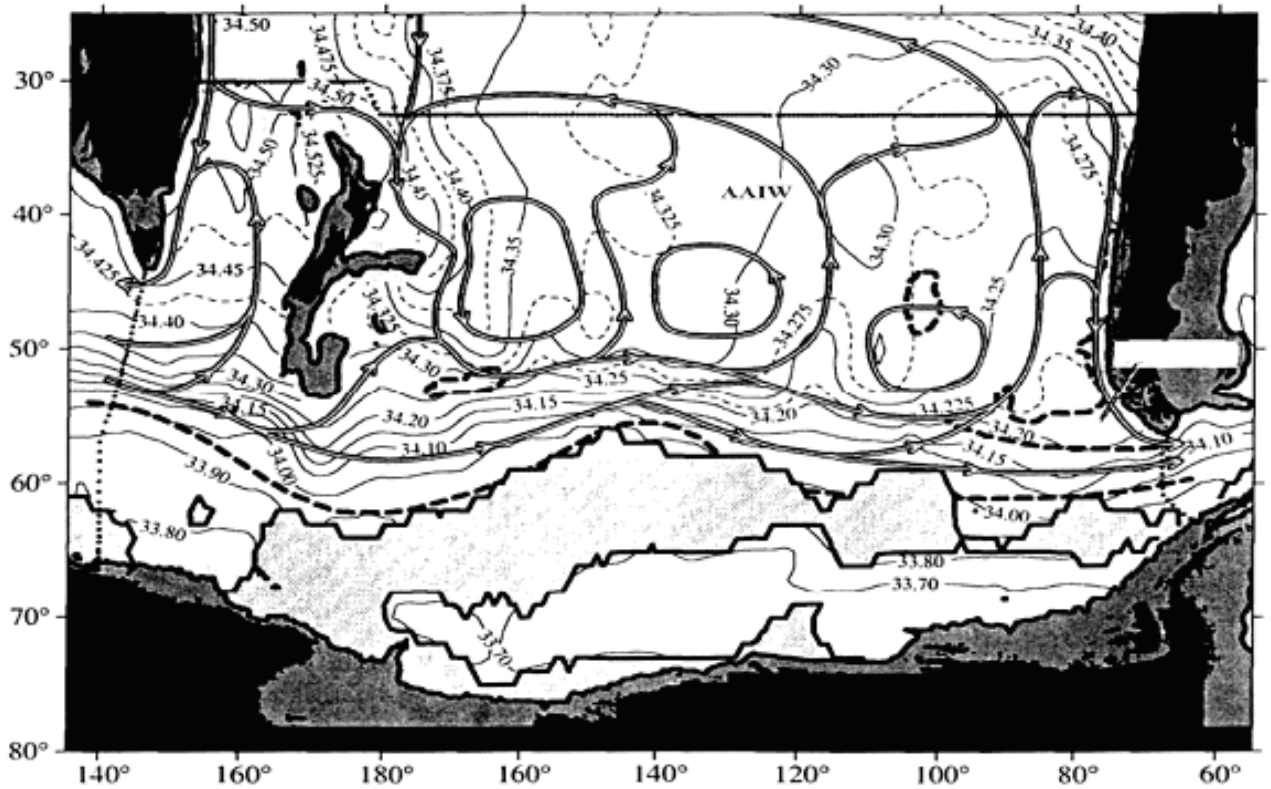


Рисунок 1.16 Сравнение структуры ареала запаса ставриды и циркуляции на промежуточных горизонтах ЮТО; а – функциональная структура ареала ставриды в океанической части ЮТО (Котенов и др., 2005; Глубоков и др., 2010), — границы ареала, — зона нереста, — зона нагула; б – циркуляция промежуточных вод антарктического происхождения в южной части Тихого океана (Кошляков, Тараканов, 2005)

Следует также сказать, что вода из области Антарктики попадает в верхний фотический слой ЮТО несколькими путями. Во-первых, вместе с мезомасштабными вихрями, пересекающими САФ, в воды умеренных широт ЮТО проникает объем антарктической воды, который в первом приближении равен объему воды, занимаемому вихрем в момент пересечения фронта. Во-вторых, при изопикническом опускании более плотной воды в области к северу от южного полярного фронта в поле силы тяжести образуется промежуточная водная масса Антарктического происхождения занимающая промежуточный слой ЮТО. Из АПрВ вода проникает в верхний слой за счет локальных океанических апвеллингов в циклонических вихря ЮТО.

Вынос икры и личинок промысловых организмов за пределы промыслового района ЮТО обеспечивается площадью самого района.

1.4 Научно-промысловое изучение района южной части Тихого океана

В качестве исходного материала для этого раздела послужили рейсовые отчеты периода 1978-1991 гг. Ссылки на них не приводятся, поскольку отчеты не издавались для массовой печати. Ознакомиться с ними можно в библиотеке Атлантического научно-исследовательского хозяйства и океанографии при наличии разрешения, по следующему адресу: Россия, г. Калининград, ул. Дм. Донского 5, каб. 115. Крупномасштабное изучение района ЮВТО, началось в июне 1978 г., когда управлением «Запрыбпромразведка» была организована первая поисково-промысловая экспедиция в ЮВТО, в состав которой входило научно-поисковый РТМС «Звезда» и 4 промысловых судна. Промысловые суда были укомплектованы научными группами и оборудованием для проведения океанологических и биологических работ. Основанием для организации экспедиции послужили сообщения китобоев об обнаружении крупных экземпляров ставриды в желудках кашалотов, выловленных вдали от берега.

На начальном этапе изучения района (1978-1980 гг.) исследовалась преимущественно ЮВТО, в частности области около ИЭЗ 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.

Все экспедиции, количество которых насчитывает 24, имели научно-поисковый характер. Основными судами данного периода были РТМС «Звезда», СРТМ «Спектр», «Меркурий», «Ноглики».

Основными задачами экспедиций данного периода являлись:

1) Научно-поисковые работы по изучению пелагических рыб, кальмаров и тунцов в открытой части ЮВТО.

2) Поиск промысловых скоплений рыбы, пригодных для тралового и кошелькового лова.

3) Научно-поисковые работы с целью расширения промысла к западу от экономической зоны Чили до 115-120° з.д.

Результатом научно-поисковых исследований ЮВТО с 1978 по 1980 гг. стало открытие высокопродуктивного подрайона пригодного для ведения промысла крупнотоннажным флотом. К августу 1979 г. акватория деятельности промыслового флота была расширена до 110° з.д. За период работ с 1978 по 1980 гг. было выполнено около 7 446 гидрологических станций (Рисунок 1.17).

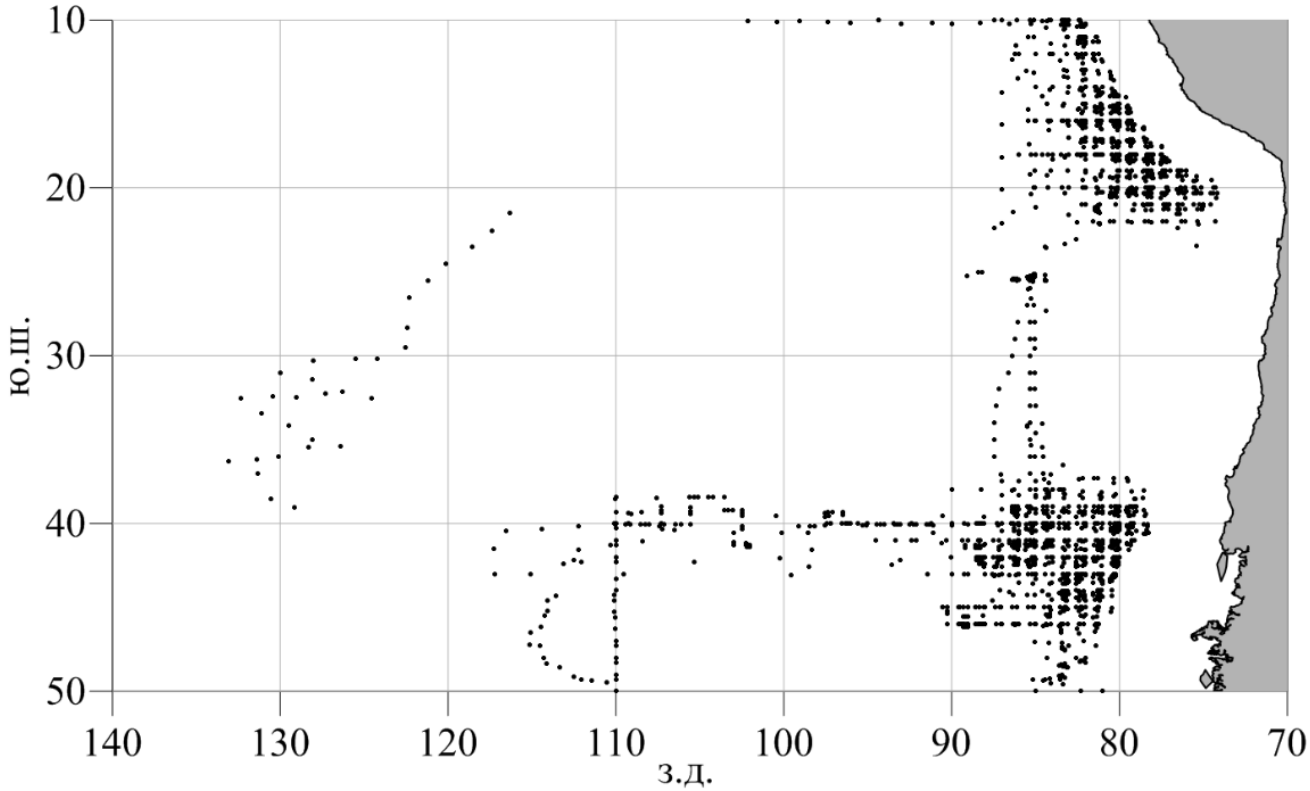


Рисунок 1.17 – Гидрологические станции, выполненные в период 1978-1980 гг. (по материалам архивных данных экспедиций)

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.

В данный период было выполнено 69 экспедиций, 46 из которых являлись научно-поисковыми, 19 – научно-исследовательскими, 4 – оперативно-поисковыми.

Основная часть работ выполнялась СРТМ «60 лет ВЛКСМ», «Блеск», «Эклиптика», РТМС «Звезда», «Куликово поле», «Малта», «Русское поле», «Сократ».

Основными задачами экспедиций данного периода являлись:

1) Подготовка оперативных рекомендаций промысловому флоту.

2) Изучение величины запасов, распределения и промысловой биологии массовых видов кальмаров и пелагических рыб.

3) Поисковое обеспечение промыслового флота сырьевой базой.

4) Проведение гидроакустических съемок с целью количественной оценки пелагических рыбных скоплений.

5) Выполнение научно-поисковых работ с целью расширения ареала промысла до 140° з.д.

За период работ с 1981 по 1985 г. было выполнено 12 776 гидрологических станций (Рисунок 1.18).

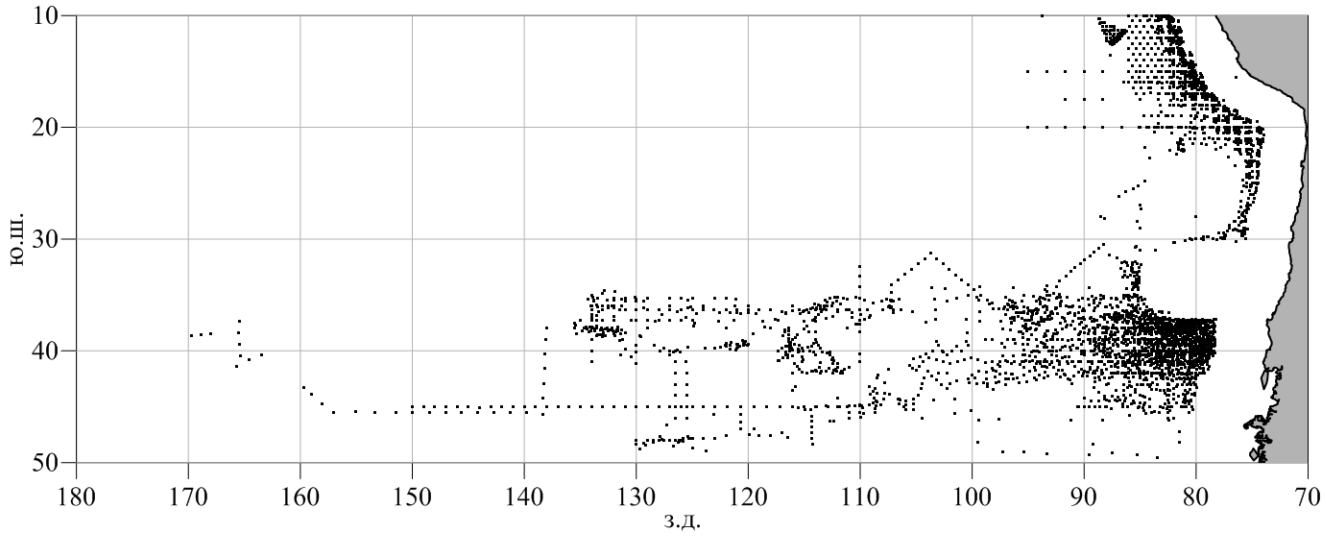


Рисунок 1.18 – Гидрологические станции, выполненные в период 1981-1985 гг. (по материалам архивных данных экспедиций)

В результате научно-исследовательских и научно-поисковых работ было:

1) Практически доказана возможность ведения эффективного, круглогодичного промысла до 140° з.д.

2) Выявлено основное направление миграции ставриды по мере роста – юго-западное.

3) Установлено, что промысловые скопления формируются в районе САФ и его меандров.

Начиная с 1986 по 1990 г. район расширился и, к концу 1990 г., уже охватывал территорию вплоть до 180° з.д. Основными судами, которые участвовали в работе были: РТМС «Звезда», «Бородинское поле», «Вольный ветер», «Куликово поле», «Патриот».

Основными задачами этого периода являлись:

1) Обеспечение промыслового флота информацией о состоянии сырьевой базы.

2) Изучение океанологических и гидробиологических факторов среды обитания промысловых объектов, а также изучение условий формирования промысловых скоплений рыб.

3) Среди задач экспедиций так же отмечается их большое количество, связанное с расширением количества гидробиологических объектов пригодных для промысла, среди них: сельдевые, анчоусовые, лангусты, креветки и крабы.

По результатам исследований и поиска, которые проводились в этот период, обнаруженные скопления были рекомендованы для промышленного ведения промысла, однако, в силу нехватки топлива, флот не продвинулся далее 152° з.д. Промысловые скопления ставриды были обнаружены вплоть до ИЭЗ Новой Зеландии. В период с 1986 по 1990 гг., выполнено 80 экспедиций, из которых: научно-исследовательских – 19, научно-поисковых – 44, оперативно-поисковых – 17. В общей сложности с 1986 по 1990 гг. было выполнено 14 552 гидрологических станций (Рисунок 1.19).

По результатам экспедиций этих лет можно сделать следующий вывод: в ЮВТО заметно снизилась величина запаса, также было заметным отсутствие формирования промысловых скоплений и, как следствие, уменьшение промысла.

В 1991 г., флот вернулся к работе и вышел к ИЭЗ Новой Зеландии, однако из-за проблем выгрузки вынужден был уйти на восток. В целом, на протяжении периода с 1991-1992 гг., наблюдается уменьшение количества выполненных экспедиций (всего – 20, из которых: 9 – научно-поисковых, 1 – научно-исследовательская, 10 – оперативно-поисковых) и общего числа станций – 1 359 (Рисунок 1.20). Период с 1991 по 1992 гг.

является заключительным, так как после этого промысел был свернут и не возобновлен до сих пор.

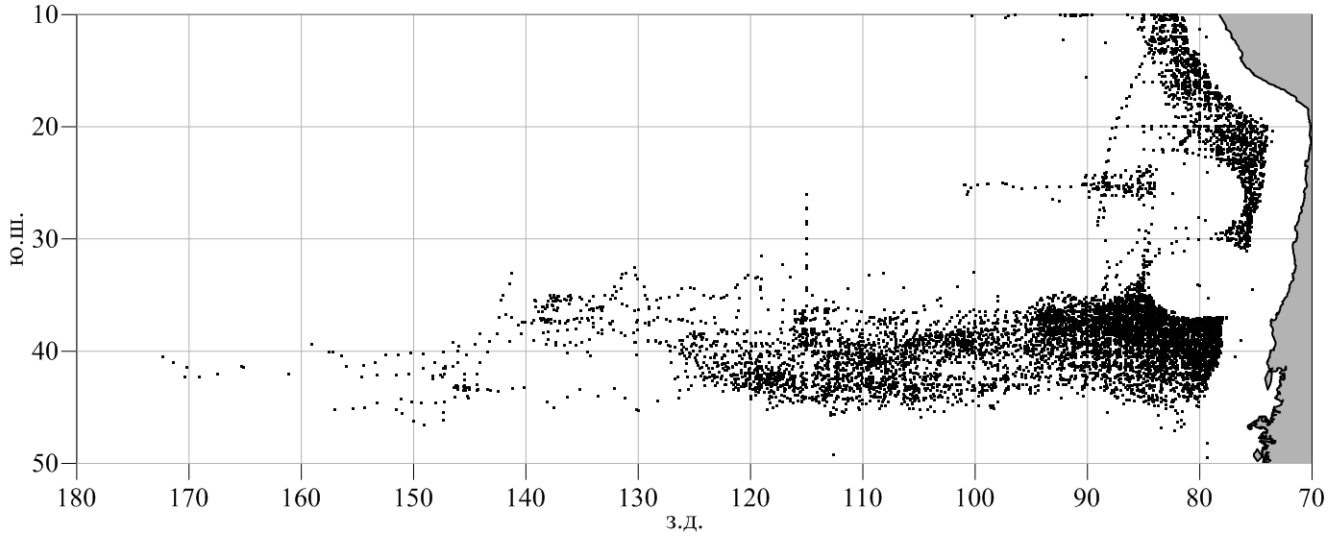


Рисунок 1.19 – Гидрологические станции, выполненные в период 1986-1990 гг. (по материалам архивных данных экспедиций)

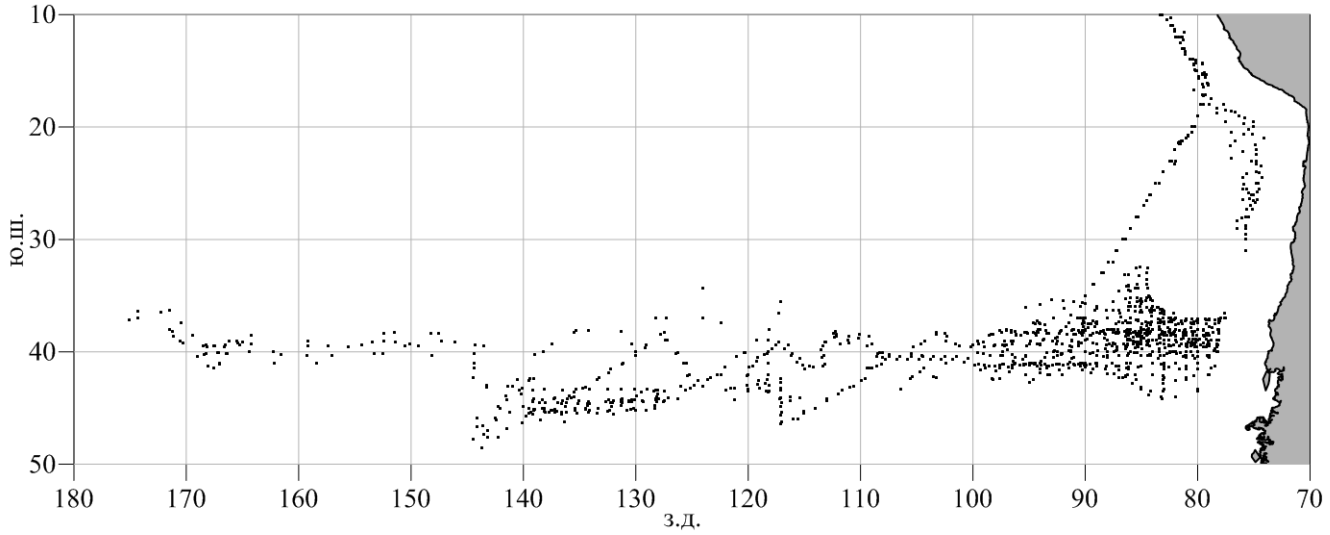


Рисунок 1.20 – Гидрологические станции, выполненные в период 1991-1992 гг. (по материалам архивных данных экспедиций)

Основной задачей на протяжении двух заключительных лет исследования ЮТО являлось обеспечение флота информацией о состоянии сырьевой базы и контроль ее состояния.

В общей сложности, в районы ЮВТО и ЮЗТО на протяжении периода с 1978 по 1992 гг. было выполнено 193 экспедиции (Рисунок 1.14), наибольшее количество которых

было выполнено в период 1986-1990 гг. (80 экспедиций). К концу 1992 г., работы были прекращены.

При рассмотрении общего состояния сырьевой базы ЮТО, начиная с 1986 г. наблюдается негативная динамика, что объясняется усилением давления промысла. Данная динамика сохранялась до конца 1992 г.

Таким образом, в результате научно-поисковых и научно-исследовательских работ, выполненных в 1978-1991 гг. (Рисунок 1.21), было установлено, что полоса 25-45° ю.ш., от Южной Америки до Новой Зеландии, представляет собой территорию с огромным запасом промыслового объекта – тихоокеанской ставриды (наблюдалось наличие особей ставриды на всех стадиях жизненного цикла). Величина годового вылова приблизительно составляла 1 млн. т. в год.

На основе полученных результатов было издано множество научных статей и сборников трудов (например, Нестеров, 1991; Сушин, 1993; Нестеров, 1996).

В 2002-2003, 2009 гг. НИС «Атлантида» и в 2010 г. «АтлантНИРО» в районе ЮВТО выполнялись научно-исследовательские работы с целью оценки сырьевых ресурсов океанических рыб и изучения их доступности для тралового промысла.

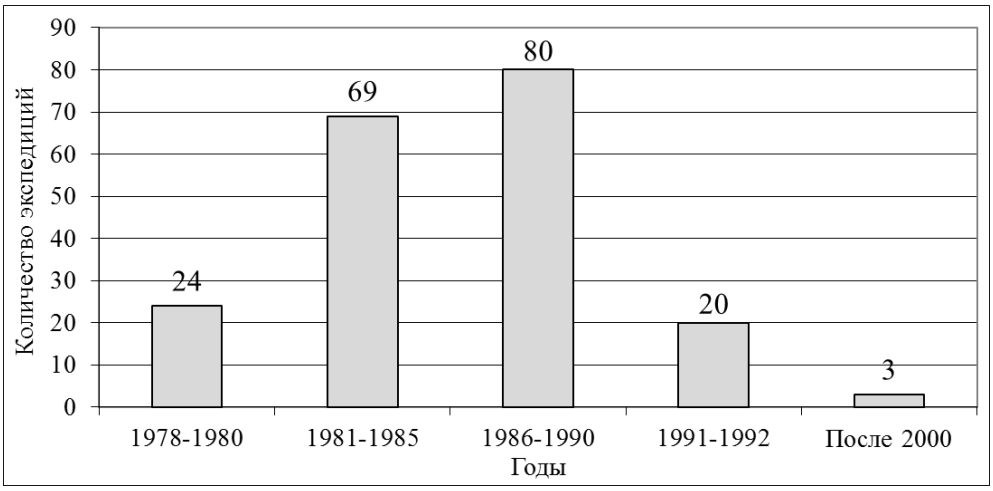


Рисунок 1.21 – Количество экспедиций в район ЮТО, в разные годы исследования

Основные результаты этих рейсов изложены во множестве научных статей (Глубоков, Глубоковский, 2010; Леонтьев и др., 2010; Нестеров и др., 2010), а также в диссертациях (Павлов, 2006; Несин, 2009).

С недавних пор начала работу SPRFMO (South Pacific Regional Fisheries Management Organisation – Региональная организация по управлению промыслом в ЮТО)

основная цель которой регуляция промысла на акватории ЮТО. Более подробно с работой этой организации можно ознакомиться на официальном сайте (https://www.southpacificrfmo.org).

Несмотря на долгие годы исследований и большое количество экспедиций, до сих пор не сложилось целостного мнения о структуре популяции ставриды в ЮТО. На семинаре, посвященном этой проблеме, который проходил в июле 2008 в Чили, рассматривалось несколько гипотез (Report of the south…; Comments and suggestions…):

Гипотеза 1: Ставриды, облавливаемые у побережья Перу и Чили, представляют самостоятельные запасы, мигрирующие в открытый океан.

Имеется весьма значительный объем исторических и современных данных, подтверждающих эту гипотезу. Однако имеются некоторые признаки смещения в распределении и, возможно, смешивания запасов в районе южной части Перу – северной части Чили, связанные с океанологическими условиями, поэтому требуется дополнительные исследования для определения наиболее вероятных границ между запасами Перу и Чили.

Гипотеза 2: Ставрида, облавливаемая у побережья Перу и Чили, представляет единый запас, мигрирующий в открытый океан.

Требуются дополнительные исследования более широкого диапазона данных, которые могли бы подтвердить или опровергнуть эту гипотезу.

Гипотеза 3: Ставрида, облавливаемая в районе Перу, представляет единый мигрирующий запас, распространяющийся от побережья до 120° з.д. Однако пока недостаточно информации, на основании которой можно достоверно определить западную границу такого запаса, поэтому требуются дополнительные исследования для определения наиболее вероятной западной границы мигрирующего запаса.

Гипотеза 4: Под воздействием крупномасштабной динамики вод на акватории ЮТО от Южной Америки до Новой Зеландии формируются относительно изолированные единицы запасов ставриды. Для каждой из них после проведения соответствующих исследований должна применяться своя стратегия управления запасом. Эта гипотеза подтверждается данными гидрофизических разрезов WOCE (World Ocean Circulation Experiment) и климатическими гидрофизическими данными по распространению и свойствам Антарктической промежуточной воды (АПрВ) в тихоокеанском секторе Южного океана. Подтверждение четвертой гипотезы

подкрепляется публикацией в работе (Кошляков, Тараканов, 2005) схемы циркуляции (Рисунок 1.16б); местоположение центрального круговорота, на которой, в точности соответствовует положению «центральной» ячейки запаса (Рисунок 1.15, 1.16а), а значит в западной и центральной части могут существовать аналогичные ячейки. Возможность существования в пределах ареала трех единиц запаса обосновывается в работах (Котенов и др., 2005; Глубоков и др., 2010). Для честности, стоит сказать что существуют работы которые излагают теорию единства запаса стариды на акватории ЮТО (Нестеров, 2007; Нестеров и др., 2014).

Размышлений на тему, какая же из гипотез правомерна, а какая нет – не приводится, но факт существования на акватории ЮТО огромного запаса вида *T. Murphyi* нельзя отрицать, и его изучение является важной задачей промысловой океанологии.

С данными о общем состоянии популяции на 2011 г. можно ознакомиться в отчетах научных рабочих групп, например в (Francois Gerlotto et al., 2012). В частности, описанию прибрежных популяций посвящены работы (Arcos, Grechina, 1994; Arcos, 1998, Grechina et al., 1998; Cordova et al., 2008).

В защиту наличия на акватории ЮТО пригодного для помысла запаса ставриды хочется сказать следующее. Данные о распределении тихоокеанской ставриды в 1982-1991 г отображают непрерывное распределение этого вида от побережья Южной Америки до 175° з.д. (Нестеров и др. 2014) Это подтверждает результаты ранних наблюдений, отображающих масштабное распределение ставриды в короткий промежуток времени (Промысловое описание…, 1985; Кузнецов, 1987; Serra, 1991). Непрерывный характер распределения отмечался и после 2000 г.

Сведения о круглогодичном присутствии ставриды в открытом океане (за переделами исключительной экономической зоны Чили) в 1982-1991 гг. подтверждаются материалами о распределении различных возрастных групп возрастом от 1 до 9 лет в ЮТО с 1978 по 1991 г. и работой иностранного флота в 2002-2013 гг. Промысловые суда Китая, Евросоюза, Чили регистрировали скопления ежемесячно на протяжении всех лет промысла (Zhang et al., 2008; Corten, 2009, SPRFMO, 2013). Кроме того, ставрида круглогодично присутствовала на акватории 200-мильной зоны Чили, где служила основой крупномасштабного промысла (Cordova et al., 2008).

Выводы по первой главе

В результате физико-географического и промыслово-океанологического анализа акватории ЮТО можно сделать следующие выводы:

1) В поле атмосферного давления на уровне моря выделены первые три ГК, которые суммарно описывают ≈ 62 % дисперсии поля и которые интерпретированы следующим образом: первая ГК отображает изменчивость в области высокого давления в субтропическом поясе – к северу от 30° ю.ш., и обратную изменчивость в субантарктической депрессии – к югу от 60° ю.ш.; вторая ГК 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 отображает обратную изменчивость поля давления в центральной части района, она в большей степени связанна с зональным переносом.

2) Для района ЮТО было выделено было выделено 3 класса синоптической ситуации: синоптическая обстановка первого класса, характеризуется давлением в центре ЮТА на уровне нормы и ниже нее в среднем на 5-10 мБар, а также наличием выраженного пояса низкого давления с осью на 60° ю.ш. со значением давления, преимущественно, на уровне нормы и выше нее на 10-15 мБар. Синоптическая обстановка второго класса, отличается от первого тем что, наблюдается аномальное увеличение давление на 60° ю.ш., это происходит по причине проникновения антициклонов на юг, в область циклоногенеза, т.е. при синоптической обстановке первого класса, движение вторичных центров ЮТА происходит в направлении запад-восток, а при ситуации второго класса имеет место движение максимумов с севера на юг, и вытягивание гребней высокого давления на юг и юго-запад. Синоптическая ситуация третьего класса является переходной. При установлении этой ситуации, наблюдается вклинивание ложбин низкого давления из области Антарктики, а также преимущественно отрицательные аномалии в области субантарктической депрессии.

3) Показано, что общий ход поля ТПО ЮТО имеет стохастическую связь с полем атмосферного давления. Об этом говорит запаздывание между рядами первых ГК поля давления и ТПО величиной в 3 месяца, при котором r = 0,85. Это подтверждает сложившиеся представления о том, что крупномасштабные процессы в океане и атмосфере протекают неразрывно и зависят от солнечной радиации.

4) С использованием кластерного анализа и метода ГК на основе данных ТПО визуально показан приток тепла в тропической части океана и его отток в высоких широтах. Это является визуальным подтверждением теории о перемещении тепла в океане (Каган, 1992; Steward, 2008).

5) Район ЮТО может считаться перспективным районом промысла, поскольку в период с 1978 по 1991 суммарный годовой вылов составлял около 1 млн. т.

ГЛАВА 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ИСПОЛЬЗУЕМЫХ НАТУРНЫХ ДАННЫХ И МЕТОДОВ ИХ АНАЛИЗА

2.1 Используемые данные

Для достижения цели использовались следующие источники данных:

Проект Argo. Данные, полученные с помощью этого проекта, являются ключевыми для проводимого исследования. Проект Argo был создан для получения информации о процессах, протекающих в океане от поверхности до 2 000 м. Данный проект, по сути, сводится к созданию долговременной глобальной сети постоянных океанографических станций на основе дрейфующих буев-измерителей. Данные поступают ежедневно и в большом количестве (при плановом количестве в 3 000 буев ежегодно производится около 100 000 CTD-станций). Временна̀я дискретность измерения каждого буя составляет 10 суток, а нижний горизонт измерений – 2 000 м.

Первые буи-измерители были запущены в 1999 г., однако, это был не первый опыт их применения. Первые применения автоматических буйковых станций отмечается 1970 г., когда была принята NDBP (National Data Buoy Programme – Национальная программа океанографических буев). Другим примером использования дрейфующих буев является исследование Южного океана, когда по программе ПГЭП (Первый Глобальный Эксперимент Погоды) в декабре 1978 г. было запущено более 300 дрейфующих буев (Корт, 1981).

Каждый буй дрейфует в течение 9 суток на заданной глубине, затем опускается на горизонт 2000 м. С горизонта 2 000 м буй всплывает на поверхность, измеряя температуру и соленость (электропроводность). Затем, в течение 6 часов данные передаются на несколько спутников Argo, которые непрерывно пересылают их в два береговых центра (г. Тулуза – Франция; г. Монтерей – США). После этого буй опускается на глубину дрейфа, и цикл продолжается до тех пор, пока не истощатся батареи (Рисунок 2.1). Рабочий период составляет около 4 лет или примерно 120 станций.

Буй может закончить свою работу преждевременно (попасть в рыбацкие сети или быть выброшен на берег). Некоторые районы Мирового океана из-за дрейфа буев могут быть оголены. Для возмещения этого предусматривается пополнение буев и их повторное

использование. Несмотря на это, прибрежные территории по-прежнему являются белыми пятнами с точки зрения данных проекта Argo.

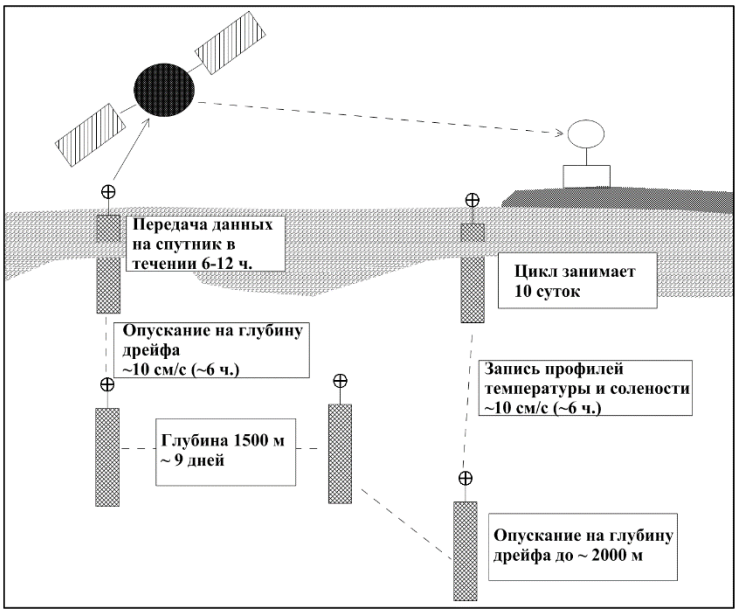


Рисунок 2.1 – Схема работы дрейфующего буя проекта Argo (Park and Profile…)

Технология производства буев была создана во время проекта по изучению циркуляции вод Мирового океана (World Ocean…).

На акватории ЮТО первый буй был запущен 2 ноября 2001, и к 5 апреля 2011 уже было выполнено 64 613 станций. Общее количество буев, которое прошло через акваторию ЮТО на данную дату, составляло 722.

На начальной стадии работы, с использованием данных, предоставляемых проектом, была создана база данных рядов температуры и солености. Для выделенного района ЮТО выбранные ряды температуры и солености были помещены в отдельную таблицу на основе СУБД FOXPRO 9.0. Затем, вся акватория ЮТО была разбита на квадраты, размерность 5° по долготе и широте. Далее, всем станциям, которые по своему географическому положению попадают в тот или иной квадрат были присвоены координаты и номер этого квадрата. В работе (Бородин и др., 2010) на основе данных, выделенных для квадратов № 32, 47, 62 (Рисунок 2.2), был создан Атлас *T,S*-кривых «Межгодовые изменения вертикальной структуры водных масс в южной части Тихого океана в январе 2004-декабре 2011 гг.». В 2012 г., он был дополнен новыми *T,S*-кривыми, а также графиками межгодовых изменений температуры и солености на глубине 100, 200, 500 м.

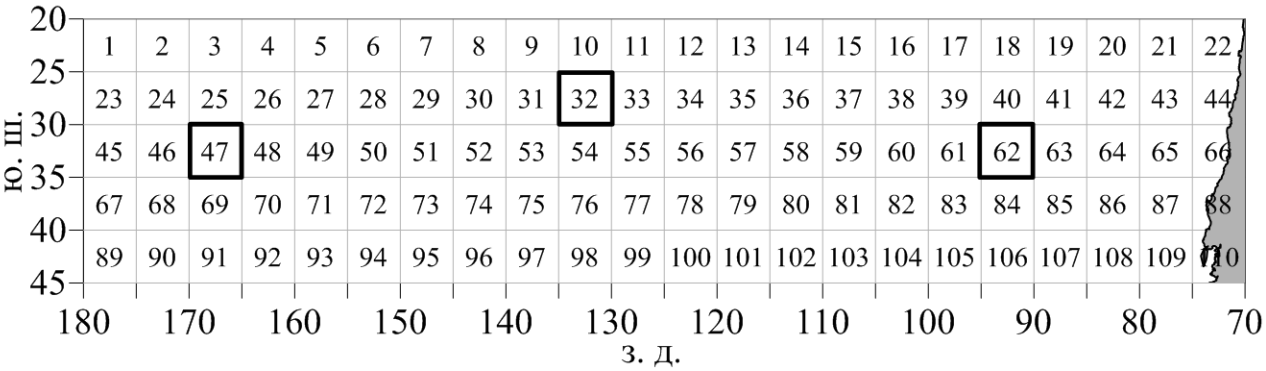


Рисунок 2.2 – Географическое положение 5-ти градусных квадратов в ЮТО

Цель состояла в получении систематизированных представлений о внутригодовой и межгодовой изменчивости вертикальной структуры вод в ЮТО с января 2004 по декабрь 2009 г.

В представляемой версии атласа использованы результаты измерений температуры и солености в трех квадратах, расположенных в западной, центральной и восточной частях района: квадрат 47 (30-35° ю.ш., 165-170° з.д.), квадрат 32 (25-30° ю.ш., 130-135° з.д.), квадрат 62 (30-35° ю.ш., 90-95° з.д.).

Основными критериями при выборе квадратов было максимальное количество станций и равномерная удаленность квадратов-кандидатов на конечный анализ. Именно на основе этих двух критериев выбиралось местоположение квадратов.

Первичные данные были получены из открытых источников информации: Coriolis (Франция) и US GODAE (США). Для характеристики вертикальной структуры вод каждого месяца использованы результаты одного зондирования, выполненного в этот месяц для каждого года в конкретном квадрате. Таким образом, для каждого месяца, каждого года и каждого квадрата была построена одна *T,S*-кривая. На страницах атласа представлено по 6 кривых, относящихся к одному месяцу конкретного года одного из выбранных квадратов. На некоторых страницах количество кривых составляет менее шести. Это означает, что в этот месяц за период с 2004 по 2009 гг. вертикального зондирования толщи воды не выполнялось. Межгодовые изменения вертикальной структуры вод для каждого месяца года и для каждого квадрата представлены на 100 страницах атласа. Страницы, относящиеся к каждому из квадратов, предваряются схемой географического положения точек измерения температуры и солености, а также приведен период наблюдений и количество профилей.

После использовались данные, которые доступны с помощью утилиты Global Marine Atlas Argo (Global Marine…). Доступный временной период для выборки: 2004-2014 г. Временная дискретность верифицированных данных – 1 месяц. Пространственная дискретность: 1°. Глубина измерения составляет 1 975 м, доступны данные как для 15, так и для 57 горизонтов. К недостаткам можно отнести длительную задержку между датами обновления источника данных (6-8 месяцев).

По причине того, что ряды параметров крайне коротки (первые измерения с января 2004), было бы целесообразно расширить ряд за счет данных из других массивов. Источником данных, подходящим по положению горизонтов и дискретности сетки является массив SODA. Его применение уже производилось в работе (Гордеева, 2008). В основе этого массива лежит известный архив глубоководных климатических данных Левитуса с учетом ассимиляции спутниковых и судовых наблюдений. Более подробную информацию можно найти в статье (Carton, Giese, 2008). Следует так же отметить что последняя версия массива SODA (Simple Ocean…), а именно v2.2.4, включает в себя данные проекта Argo.

Для совмещения данных, сперва нужно убедиться в возможности их совместного использования. Для этого применялся коэффициент корреляции Пирсона. Корреляции (Таблица 2.1) подвергались ряды на горизонтах 0, 100, 200, 300, 500 м, на временном отрезке с января 2004 по декабрь 2008. Такой короткий промежуток был взят по причине того, что верифицированные данные массива Argo, поступают с января 2004 г.

Таблица 2.1 – Коэффициенты корреляции на различных горизонтах, между массивом SODA и данными проекта Argo

Горизонт (м)	Температура	Соленость
0	**0,96**	0,45
100	0,05	0,07
200	-0,14	0,08
300	-0,04	0,24
500	0,11	0,04

Сравнительный анализ проводился относительно центрального квадрата ЮТО – № 32 (см. Рисунок 2.2). В результате проведенного корреляционного анализа выяснились следующие подробности: достаточно высокая корреляция наблюдается только на

горизонте 0 м, корреляция между рядами глубинных горизонтов крайне низка и колеблется от -0,14 до +0,10 (Таблица 2.1).

При выборе данных было принято решение отдать приоритет инструментальным данным, которые получены путем измерений (проект Argo), а не реанализа (массив SODA).

Массив информации IGOSS (Integrate Global Ocean Service System), представляет собой набор данных о поверхности океана с начала 80-х годов XX века по настоящее время. Этот массив содержит среднемесячные значения ТПО и ее аномалии с ноября 1981 г. по настоящее время. Пространственная дискретность данных составляет 1°. Доступны данные временной дискретностью 1 неделя и 1 месяц. Вся первичная информация прошла проверку качества (Integrated Global…).

Проект AVISO (Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data). Данный проект создан с целью дистанционного изучения уровенной поверхности океана. Данные, доступные пользователям, содержат значения абсолютной динамической топографии (АДТ) океана, а так же информацию об аномалиях АДТ. Пространственная дискретность данных составляет 0,25°. Временна̀я дискретность – 1 и 7 суток. Доступ к данным предоставляется через ftp-соединение для зарегистрированных пользователей. Более подробную информацию можно найти по ссылке (Archiving, Validation…).

Mesoscale eddies in Altimeter Observations of SSH (массив Челтона). Данный массив был создан в рамках глобального исследования нелинейных мезомасштабных вихрей (Chelton et al., 2011). Он содержит в себе данные о вихрях, начиная с 1992 по 2013 гг., а именно: уникальный номер вихря, количество точек, в которых фиксировался вихрь, дата фиксации вихря с обозначением координат, а также данные об амплитуде (см), диаметре (км), времени жизни вихря (недели), и скорости вращения (см/с).

Данный массив строится посредством автоматизированной процедуры для выявления и отслеживания мезомасштабных вихрей, которая основанна на значении уровня моря. Он находится в свободном доступе (Mesoscale eddies…).

Стоит сказать несколько слов об извлечении данных из массива. При получении массива, представленные данные для анализа не пригодны, поскольку имеют строчное представление (информация по каждому отдельному вихрю содержится в шести строках, длина каждой строки в свою очередь зависит от времени жизни вихря), поэтому для конвертации исходных данных в формат, подходящий для анализа методами

статистической обработки информации, использовалась утилита, созданная в лаборатории промысловой океанологии Атлантического научно-исследовательского хозяйства и океанографии. Она применяется для извлечения данных из изначального массива и приведение их к стандартному табличному виду, а также для подсчета количества циклонов, антициклонов и осреднения их характеристик для каждого месяца каждого года в каждом узле регулярной сетки, которая создается так же с помощью утилиты (создано в соавторстве с О.А. Краснобородько). В утилите рассчитывается: скорость передвижения (см/с), нелинейность (безразмерная величина) а так же меридиональные и зональные составляющие дистанции пройденной вихрем (км).

Массив информации NCEP-NCAR (National Centers for Environmental Prediction – National Center for Atmospheric Research), содержит архив ежедневных, средненедельных и среднемесячных значений атмосферного давления на уровне моря с января 1949 г. по настоящее время. Пространственная дискретность данных – 2,5°. Данные находятся в свободном доступе по адресу (National Centers…).

2.2 Методы анализа натурных данных

2.2.1 Анализ временных рядов

Анализ временных рядов проводился с использованием стандартных методов одномерного статистического анализа.

Сглаживание рядов с целью выделения колебаний, период которых превышает некие заданные величины, проводилось с помощью метода скользящего среднего. Таким образом, ряды очищались от годового хода и получались их низкочастотные составляющие (Лаппо и др., 1990) или ряды среднегодовых значений для каждого месяца.

Поиск связи между рядами осуществлялся с помощью коэффициента корреляции Пирсона (1), а также коэффициента корреляции Спирмена (2). Они являются безразмерными характеристиками линейной взаимосвязи двух случайных величин X и Y (Малинин, 2008):

$$r_{X,Y} = \frac{\sum(X-\bar{X})(Y-\bar{Y})}{\sqrt{\sum(X-\bar{X})^2\sum(Y-\bar{Y})^2}} \quad (1)$$

$$\rho = 1 - \frac{6\sum_{i=1}^{n} d_i^2}{n(n^2-1)} \quad (2)$$

Для изучения межгодовой изменчивости и выявления возможных циклов использовался спектральный анализ Фурье, который заключается в разложении исходного ряда на различные частотные составляющие (спектр), показывающий вклад колебаний с разными частотами в общую энергию процесса (Белоцерковский, 1993). Формула преобразования дискретного ряда в ряд гармоник выглядит как:

$$S(k) = \sum_{n=0}^{N-1} s(n) * \exp(-j\frac{2\pi}{N}nk), k = 0 \ldots N-1 \quad (3)$$

где S(k) – отчет соответствующего спектра.

Для оценки адекватности разбиения на классы использовалась проверка нулевой гипотезы о равенстве выборочных средних по критерию Стьюдента ($t_{кр}$) (Малинин, 2008). Принята величина уровня значимости α = 0,05.

Для проверки нулевой гипотезы сначала вычислялось эмпирическое значение t-критерия Стьюдента:

$$t^* = \frac{|\bar{x} - \bar{y}|}{\sqrt{N_x D_x - N_y D_y}} \sqrt{\frac{N_x N_y (N_x + N_y - 2)}{N_x + N_y}} \quad (4)$$

где N – длины для выборок x и y, а D – дисперсии выборок. Затем вычислялось критическое значение критерия Стьюдента $t_{кр}$ по выбранному уровню значимости α и числу степеней свободы v=Nx+Ny-2. После этого сравнивалось эмпирическое и критическое значение критерия. Если эмпирическое значение превосходило критическое ($t^* > t_{кр}$) – нулевая гипотеза отвергалась. Следовательно, различия в средних значениях двух выборок были статистически значимы при заданном α.

2.2.2 Анализ полей

Для *анализа пространственно-временной изменчивости полей* использовались методы многомерного статистического анализа, описание которых приводится ниже

согласно (Вайновский, Малинин, 1992). Для осуществления анализа использовалось ПО Statistica и IBM SPSS Statistics.

Метод главных компонент. Данный метод применялся для анализа полей атмосферного давления и ТПО. Идея метода ГК состояла в представлении сложного процесса как суммы более простых взаимонезависимых составляющих (членов разложения). Метод ГК дает возможность по *m* – числу исходных признаков выделить *m* главных компонент, или обобщенных признаков. Пространство ГК ортогонально.

Математическая модель ГК базируется на логичном допущении, что значения множества взаимосвязанных признаков порождают некоторый общий результат. Исходные данные наблюдений для метода ГК формируются в виде таблиц, расположенных в координатах: пространство – время, пространство – признаки или время – признаки. В каждом случае возникает свой уровень обобщения материала.

В матричном виде основное уравнение метода ГК записывается в виде:

$$Z = A'F \tag{5}$$

где **Z** – матрица исходных стандартизованных переменных размером m×n (m - число столбцов, n - число строк),

A – матрица коэффициентов линейной связи исходных переменных и главных компонент размером m×m,

F – матрица размером m×n, представляющая набор ортогональных безразмерных коэффициентов разложения, называемых ГК (m – число главных компонент, n – длина ГК).

Если раскрыть содержание уравнения (3), то в поэлементном виде (для j-й переменной) оно может быть записано как:

$$z_j = a_{j1}f_1 + a_{j2}f_2 + \ldots + a_{jm}f_m = \sum_{k=1}^{m} a_{jk}f_k \tag{6}$$

где $f_1, f_2, \ldots, f_m$ - ГК.

Матрицу **A** можно представить в следующем виде:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \ldots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \ldots & a_{2m} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ a_{m1} & a_{m2} & \ldots & a_{mm} \end{bmatrix} \tag{7}$$

Коэффициенты связи (собственные вектора разложения) a_{ij} определяют величину парного коэффициента корреляции между фиксированной ГК и исходными переменными. Так, для первой ГК имеем:

$$a_{11} = r(z_1, f_1), a_{21} = r(z_2, f_1), \ldots, a_{ml} = r(z_m, f_1) \tag{8}$$

Отсюда видно, что матрица **A** представляет матрицу коэффициентов парной корреляции, однако, в отличие от обычной корреляционной матрицы она не является симметрической, т.е. $a_{ij} \neq a_{ji}$. Заметим также, что сумма элементов любого (j-го) столбца матрицы **A** равна дисперсии j-й ГК, т.е.:

$$a_{1j}^2 + a_{2j}^2 + \ldots + a_{mj}^2 = \sum_{i=1}^{m} a_{ij}^2 = \lambda_j \tag{9}$$

где λ_j - собственное число корреляционной матрицы, соответствующее j-й ГК.

Одновременно с этим сумма квадратов элементов любой (i-й) строки матрицы **A** равна единице, т.е.:

$$a_{i1}^2 + a_{i2}^2 + \ldots + a_{im}^2 = \sum_{i=1}^{m} a_{ij}^2 = 1 \tag{10}$$

Исходя из свойств метода ГК, сумма собственных чисел разложения соответствует суммарной дисперсии исходной матрицы. Это означает, что выполняется условие $\sum\lambda_j = m$. Из геометрической интерпретации метода ГК следует, что переход из исходного пространства признаков в систему координат ГК осуществляется простым ортогональным поворотом координатных осей на угол α против часовой стрелки. Очень важно, что такое вращение происходит без искажения геометрической структуры облака наблюдений в пространстве ГК.

С практической точки зрения чрезвычайно важной представляется оценка числа членов разложения, оптимального для физической интерпретации и количественного описания свойств исследуемых полей. Для этой цели используются различные критерии. Например, критерий информативности метода ГК имеет вид:

$$CC = (\lambda_1 + \lambda_2 + \ldots + \lambda m') / (\lambda_1 + \lambda_2 + \ldots + \lambda m) \tag{11}$$

где m' - число отобранных чисел.

Нетрудно видеть, что СС характеризует скорость сходимости метода ГК. Чем быстрее величина СС стремится к 1, тем выше скорость сходимости. К сожалению, не существует каких-либо объективных оценок на выбор величины СС. Обычно в

практических приложениях считается достаточным, если СС описывает 70-90 % дисперсии исходного поля.

На практике очень полезным является визуальный анализ чисел λ_j. Для этого строится график зависимости λ_j и его градиента $\Delta\lambda_j$ от числа переменных. Там, где убывание значений λ_j максимально замедляется, а величина $\Delta\lambda_j$ становится малой, т.е. $\Delta\lambda_j=\lambda_{j+1}-\lambda_j < k$, где k – почти неменяющееся малое число, то ограничиваются выбором собственных чисел до λ_{j-1} включительно. В некоторых случаях вместо λ_j строится график $\ln\lambda_j$, имеющий более резкие границы.

Метод кластерного анализа. Он применяется для классификации вертикальных разрезов по термохалинным данным и определении положения верхней и нижней границ АПрВ. Суть этого метода состоит в следующем. Исходную совокупность n объектов, каждый их которых характеризуется m признаками, требуется разбить на k кластеров. Прежде всего, исходя из каких-либо априорных соображений, исследователем задаются k точек (объектов) или же они отбираются случайным образом в результате работы программы. Эти точки принимаются за первоначальные «эталоны». Каждому их них присваивается порядковый номер, который одновременно является и номером кластера.

На первом шаге из оставшихся n-k объектов извлекается любая точка X_i и на основе матрицы расстояний строится вектор этих расстояний до всех эталонов. Данная точка присоединяется к тому эталону (центру), которому соответствует минимальное расстояние до выбранной точки. При этом эталон заменяется новым, пересчитанным с учетом присоединенной точки, а вес его увеличивается на единицу. На следующем шаге выбирается новая точка X_{i+1} и для нее повторяются аналогичные процедуры. В результате через n-k шагов все точки окажутся разнесенными по кластерам. Однако процесс классификации на этом не заканчивается. Чтобы добиться устойчивости разбиения, все точки $X_1,X_2,\ldots,X_n$ заново присоединяются к выделенным кластерам, причем веса продолжают накапливаться. Новое разбиение сравнивается с предыдущим. При их совпадении работа алгоритма заканчивается, в противном случае она продолжается.

Для оценки расстояния между объектами x_j и x_{j+1} использовалась эвклидова метрика:

$$D(x_j, x_{j+1}) = \sqrt{\sum_{i=1}^{m} p_i (x_{i,j} - x_{i,j+1})^2} \qquad (12)$$

где p_i – вес i-го признака.

Поскольку во многих случаях очень сложно отдать предпочтение каким-либо переменным, то обычно принимают $p_i=1$.

Поскольку априори число классов, как правило, неизвестно, то рекомендуется задавать несколько вариантов и затем уже выбирать оптимальный вариант. Для этого в качестве критерия качества классификации удобно, например, использовать такое расстояние, которое достигает максимума при среднем минимальном внутриклассовом $D_{ВК}$ и среднем максимальном межклассовом расстояниях $D_{МК}$. Исходя из сказанного, можно записать:

$$D_{опт} = D_{МК} - D_{ВК} \to \max \text{ или } D'_{опт} = D_{МК} / D_{ВК} \to \max \qquad (13)$$

Выбор оптимального числа классов и критерия качества классификации – прерогатива исключительно самого исследователя, который для этого может использовать не только формальные, но и неформальные соображения.

При решении многих задач полезными могут оказаться также алгоритмы иерархической классификации, для которых характерно последовательное объединение (разъединение) объектов до тех пор, пока все они не соединятся в единый кластер или не разъединятся таким образом, чтобы каждому классу соответствовал один объект. Процедуры первого типа, наиболее часто используемые на практике, получили название агломеративных, а второго типа – дивизимных. Отличительной чертой их является контраст между чрезвычайной математической простотой основных алгоритмов и сложностью окончательной программы.

Суть наиболее часто используемых в практических расчетах агломеративных алгоритмов состоит в следующем. На первом шаге вычисляется матрица расстояний для n объектов и выбирается та пара, которая имеет наименьшую меру различия. После этого пересчитывается расстояние от центра тяжести этой пары до остальных точек и вставляется в матрицу расстояний. Затем определяется минимальное расстояние и если оно стягивает пару точек, не связанную с первой парой, то формируется новая группа. На следующем шаге производится пересчет расстояния от новой группы до оставшихся точек. Указанная процедура повторяется до тех пор, пока все точки не объединятся в одну группу. Именно пересчетом матрицы расстояний на каждом шаге иерархические процедуры отличаются от эвристических, сохраняющих их неизменными в течение всей классификации. Заметим, что последовательность объединения легко поддается

геометрической интерпретации и может быть представлена в виде древовидной схемы, называемой дендрограммой.

В настоящее время известно большое число различных модификаций иерархических алгоритмов. Например в данной работе используется алгоритм Уорда. Данный алгоритм отличается от других процедур тем, что использует методы дисперсионного анализа для оценки расстояний между кластерами. Он минимизирует сумму квадратов (SS) для двух кластеров, формирование которых происходит на каждом шаге. При этом сумма квадратов вычисляется как:

$$SS = \sum_{j=1}^{n} \sum_{i=1}^{p} (x_{ij} - \overline{x_{jk}})^2 \qquad (14)$$

где k – номер кластера,

j - номер объекта,

i - номер признака,

p - число признаков, характеризующих каждый объект,

n - число объектов в k-м кластере.

Данный метод приводит к образованию кластеров приблизительно равных размеров с минимальной внутриклассовой дисперсией. Этим он близок к эвристическим алгоритмам, минимизирующим внутриклассовую дисперсию и максимизирующим межклассовую дисперсию. В целом алгоритм Уорда весьма эффективен, но он стремится создавать кластеры малого размера, что практически не сказывается на качестве классификации при относительно небольших размерах исходной выборки.

Принципиальный недостаток большинства иерархических процедур, в том числе и алгоритма Уорда, заключается в невозможности автоматического выбора оптимального числа классов. Считается, что исследователь должен сам выполнять эту операцию, исходя из каких-либо априорных физических представлений, либо задавая тем или иным способом пороговое (критическое) расстояние. В последнем случае при выполнении численных расчетов довольно часто возникает ситуация неопределенности, когда возможно несколько вариантов определения оптимального числа классов. Для выхода из данного положения достаточно, дополнительно задавая то или иное число классов на основе метода k-средних, оценить наиболее оптимальное их количество. Итак, совместное использование иерархических и эвристических процедур, это наиболее

рациональный и перспективный подход при решении многих задач анализа и классификации гидрометеорологических полей.

Выводы по второй главе

В результате выбора материалов и методов, требуемых для достижения цели можно заключить следующее:

1) Установлено что проект Argo является наиболее подходящим для получения данных из глубинных слоев океана, поскольку основывается на результатах локальных измерений, проведенных в глубине океана.

2) Создана утилита «E-Extractor» (в соавторстве с О.А. Краснобородько) для обработки массива *Mesoscale eddies in Altimeter Observations of SSH*. Функциональность утилиты включает: получение массива из интернета; приведение данных к стандартному табличному виду; расчет скорости передвижения вихря; расчет меридиональной и зональной составляющих дистанции, пройденной вихрем; создание регулярной сетки по параметрам пользователя; подсчет для каждого месяца каждого года в каждом узле регулярной сетки количества циклонов и антициклонов, а также количества их наблюдений; осреднение для каждого месяца каждого года в каждом узле регулярной сетки параметров вихрей (отдельно для циклонических и антициклонических вихрей): амплитуды, радиуса, скорости вращения.

ГЛАВА 3. СТРУКТУРА И ДИНАМИКА ВОД В ЮЖНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА

3.1 Вертикальная структура водных масс в южной части Тихого океана

3.1.1 Среднемноголетняя вертикальная структура водных масс в южной части Тихого океана

Для анализа среднемноголетней вертикальной структуры АПрВ и других водных масс на акватории ЮТО была сформирована выборка среднемесячных значений температуры и солености воды за период с 2004 по 2013 гг. с пространственным ограничением 32,5-61,5° с.ш., 88,5-170,5° з.д., дискретностью 1°. Исследовался слой 0-2000 м разбитый на 58 горизонтов. Осреднение по годам производилось в каждой точке используемой выборки. Такой объем данных не позволяет проведение «объемного» кластерного анализа, который был предложен в (Малинин, Гордеева, 2009) и который был бы более целесообразен. Поскольку данные не могут быть проанализированы в полном объеме, 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 3.1).

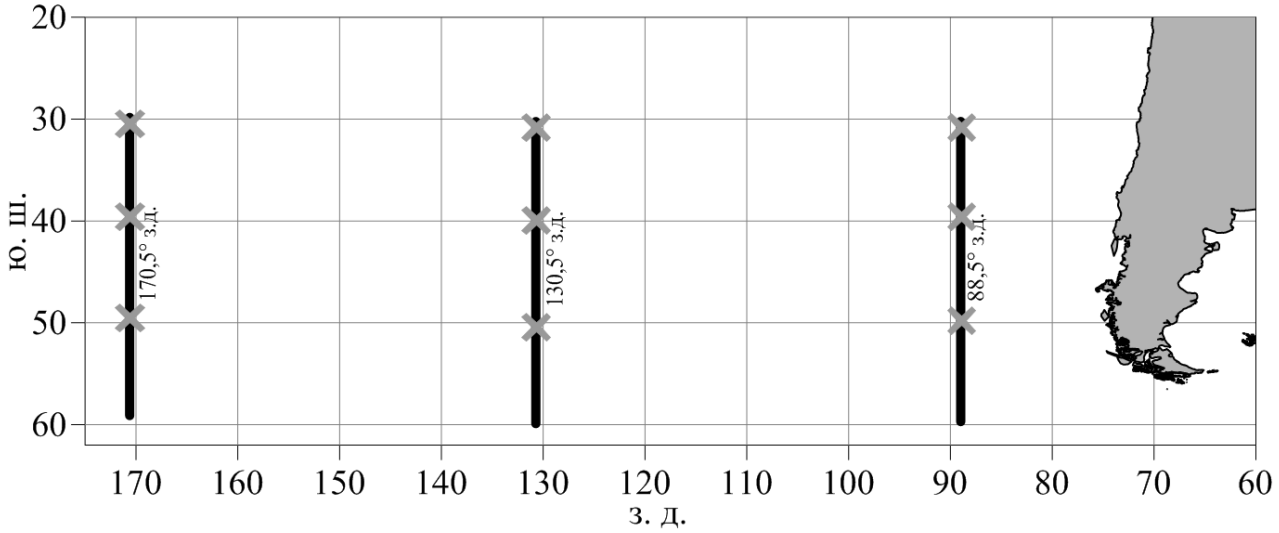


Рисунок 3.1 – Схема пространственного положения изучаемых разрезов; × - точки для которых проводился *T,S*-анализ

Для выделения водных масс применялся кластерный анализ для каждого из разрезов по долготе в двумерном пространстве. При этом иерархическая классификация производилась методом Уорда, в качестве дистанции объединения использовалась евклидова метрика, объектами классификации выступали точки в пространстве, а признаками выступали среднегодовые значения температуры и солености в каждой точке разреза. Предварительно выполнялась статистическая стандартизация данных по температуре и солености относительно всего пространства выборки.

Для определения пространственных координат центра водной массы (термохалинного индекса) применялась методика, предложенная в (Малинин, Гордеева, 2009). В начале выполнялся расчет средних значений температуры и солености (Таблица 3.1), принимаемых за центр водных масс, а затем строилась евклидова метрика центра в двухмерном пространстве со всеми точками водной массы. Точка, имеющая минимальное расстояние до центра водной массы, принималась за термохалинный индекс и легко идентифицировалась в пространстве.

Согласно известной классификации Мамаева (1987), в ЮТО в пределах изучаемых горизонтов присутствуют следующие водные массы: субтропическая тропосферная водная масса (СТВМ), антарктическая поверхностная и промежуточные воды и глубинная водная масса (ГлВМ). Тропосферные воды располагаются в приповерхностных слоях океана на глубинах от 100 до 500-900 м и приурочены к антициклоническим круговоротам. Промежуточные воды представляют собой границу между тропосферой и стратосферой и располагаются на глубинах от 600-800 м в восточной части ЮТО и до 1 200 м в западной части. ГлВМ занимает наибольший объем в Мировом океане и имеет минимальную изменчивость температуры и солености. Важно, что в зависимости от широты одна и та же водная масса может быть расположена как на поверхности океана, так и находиться в толще океана. Так, например, ГлВМ выходит на поверхность океана к югу от южного полярного фронта, а АПрВ в соответствии с представлениями об ее образовании (Sloyan, Rintoul, 2001; Кошляков, Тараканов, 2005) находится на поверхности между ЮПФ и САФ.

Прежде всего, был проведен классический *T,S*-анализ для трех точек на каждом из выбранных меридиональных разрезов (Рисунок 3.1). Результаты *T,S*-анализа для среднемноголетних годовых значений температуры и солености представлены на Рисунке 3.2. Характерной особенностью *T,S*-кривых для восточного разреза (Рисунок 3.2)

является «веерообразная» форма, свойственная областям горизонтального взаимодействия водных масс. В частности, следует упомянуть о ярко выраженном экстремуме солености на 32,5° ю.ш., который располагается на глубине 670 м. (Рисунок 3.2). Его наличие является следствием проникновения холодных антарктических вод на север в потоке южного антициклонического круговорота. Для двух других разрезах экстремумы солености не так выражены.

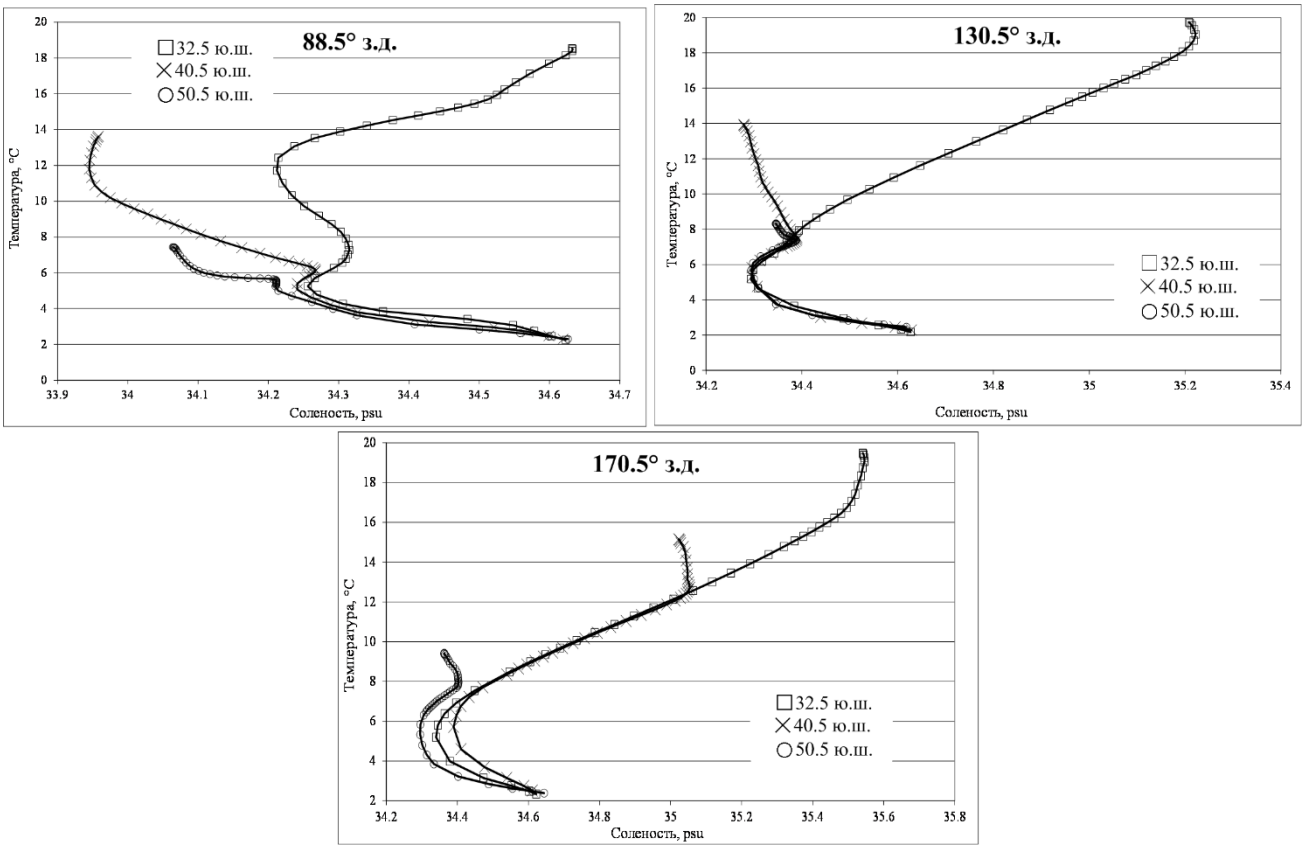


Рисунок 3.2 – *T,S*-кривые для отдельных точек меридиональных разрезов на Рисунке 3.1 (Бородин, 2014б)

T,S-кривая для центрального разреза (Рисунок 3.2) имеет гораздо более сглаженный характер и не имеет ярковыраженных экстремумов. Это объясняется отсутствием каких-либо факторов, прежде всего, течений, которые могли бы в значительной степени влиять на изменчивость водных масс в данной зоне ЮТО. На *T,S*-диаграмме (Рисунок 3.2) отчетливо видны ядра поверхностной субтропической и поверхностной субантарктической водных масс и АПрВ.

При сравнении *T,S*-кривых для 130,5 и 170,5° з.д. на Рисунке 3.2, следует отметить различие в формах кривых для точек на 40,5 и 50,5° ю.ш. На этих точках в западной части ЮТО ядра подповерхностных водных масс имеют большие показатели температуры и

солености по сравнению с центральным разрезом. Это объясняется тем, что в западной части ЮТО происходит поворот южного антициклонического круговорота на юг и, соответственно, вынос на юг теплых субтропических вод (Бородин, 2014б).

В результате анализа *T*,*S*-кривых, как и ожидалось, на указанных разрезах могут быть выделены следующие основные ВМ:

1) ГлВМ

2) Промежуточная водная массы (ПрВМ)

3) СТВМ

Указанная классификация использовалась для выбора количества классов при выполнении кластерного анализа.

На Рисунке 3.3 приведена дендрограмма классификации среднемноголетних годовых значений температуры и солености в слое 0-2000 м для трех меридиональных разрезов.

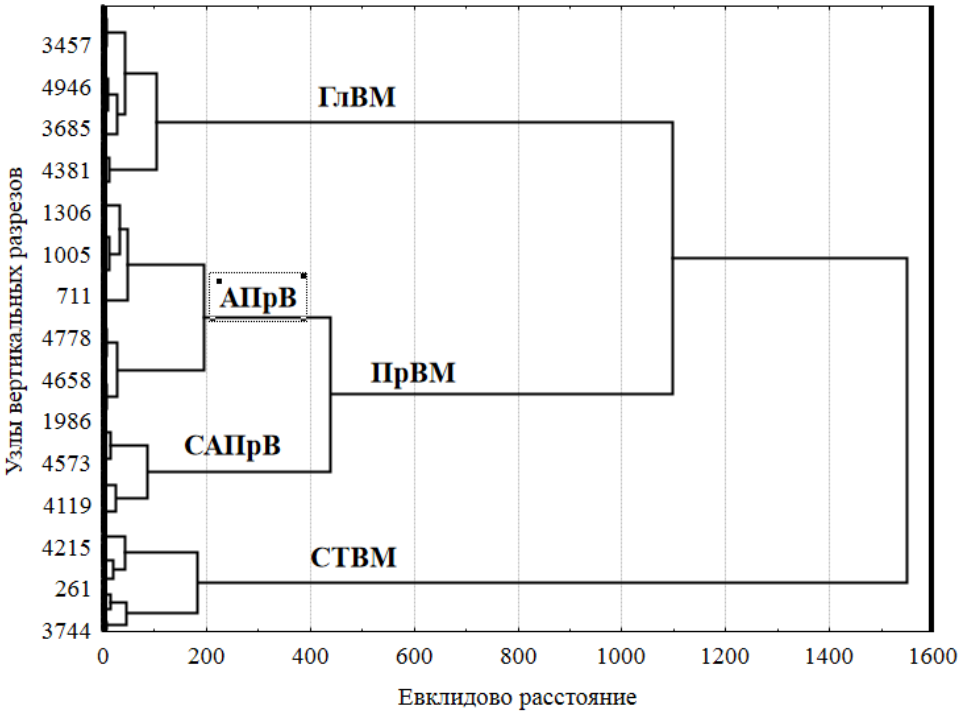


Рисунок 3.3 − Дендрограмма классификации среднемноголетних значений температуры и солености в слое 0-2000 м для трех разрезов ЮТО на Рисунке 3.1 (Бородин, 2014б)

Выделяются две основные водные массы. СТВМ выделяется в один из главных иерархических уровней (Рисунок 3.3). В другой иерархический уровень объединяются ПрВМ и ГлВМ. При этом ПрВМ может быть разбита еще на две водные массы: АПрВ и

субантарктическую промежуточную водную массу (САПрВ). Четко выделяемые три класса (Рисунок 3.3), являются ничем иным как структурными зонами (поверхностной, промежуточной и глубинной, соответственно), выделенными Степановым (1983). Исходя из классических представлений, приведенных выше, было принято решение считать оптимальным разбиение водных масс на 4 класса (Бородин, 2014б).

Таблица 3.1 − Статистические характеристики водных масс ЮТО для среднемноголетних годовых условий (Бородин, 2014б)

	Характеристика	Кол-во точек	Среднее	Стандартное отклонение	Максимум	Минимум
СТВМ	Глубина, м	676	94,08	446,21	340,00	2,50
	Соленость, psu		34,72	4,17	35,55	33,93
	Температура, °C		14,05	0,31	19,74	11,13
САПрВ	Глубина, м	674	203,66	433,43	500,00	2,50
	Соленость, psu		34,42	4,08	34,88	33,93
	Температура, °C		9,32	0,31	11,13	7,87
АПрВ	Глубина, м	1442	358,14	437,18	1200,00	2,50
	Соленость, psu		34,25	4,03	34,49	33,95
	Температура, °C		6,24	0,30	7,89	4,36
ГлВМ	Глубина, м	1168	836,43	487,67	1975,00	2,50
	Соленость, psu		34,32	0,30	34,74	33,89
	Температура, °C		2,75	4,05	4,38	0,55

На Рисунке 3.4 представлено вертикальное распределение водных масс на меридиональных разрезах. Нетрудно видеть, что наименьший объем среди всех выделенных водных масс занимает СТВМ. В восточной части ЮТО она располагается к северу от 44° ю.ш. В центральной части она занимает на поверхности такую же акваторию, как и в западной, но ее нижняя граница располагается на глубине 300 м, в то время как в восточной ее нижняя граница доходит 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 центра СТВМ смещен на юг до 50° ю.ш. и расположен у поверхности на глубине 30 м. Это свидетельствует о том, что в данной части океана на юг выходят теплые и соленые субтропические воды.

Несмотря на отсутствие САПрВ на *T,S*-диаграммах, ее выделение объясняется наличием подстилающего слоя подповерхностных промежуточных вод, который был выделен в работе (Кукса, 1983) и который в западной литературе известен как САМВ. Кроме того, ее наличие отчетливо видно на дендрограмме (см. Рисунок 3.3) полученной по среднемноголетним данным (Бородин, 2014б). На поверхности САПрВ занимает наибольшую площадь в центральной части ЮТО и примерно одинаковую в восточной и

западной частях ЮТО (Рисунок 3.4). Наибольший объем САПрВ занимает в центральной части ЮТО. Наименьший в восточной. Верхняя граница САПрВ совпадает с нижней границей СТВМ. Нижняя граница САПрВ доходит до глубины 400 м в восточной части и опускается до 580 м в центральной и западной частях ЮТО (Рисунок 3.4). Центр САПрВ смещается на юг при продвижении с востока на запад от 34 до 51° ю.ш. и поднимается к поверхности от 300 м на востоке до 30 м на западе (Бородин, 2014б).

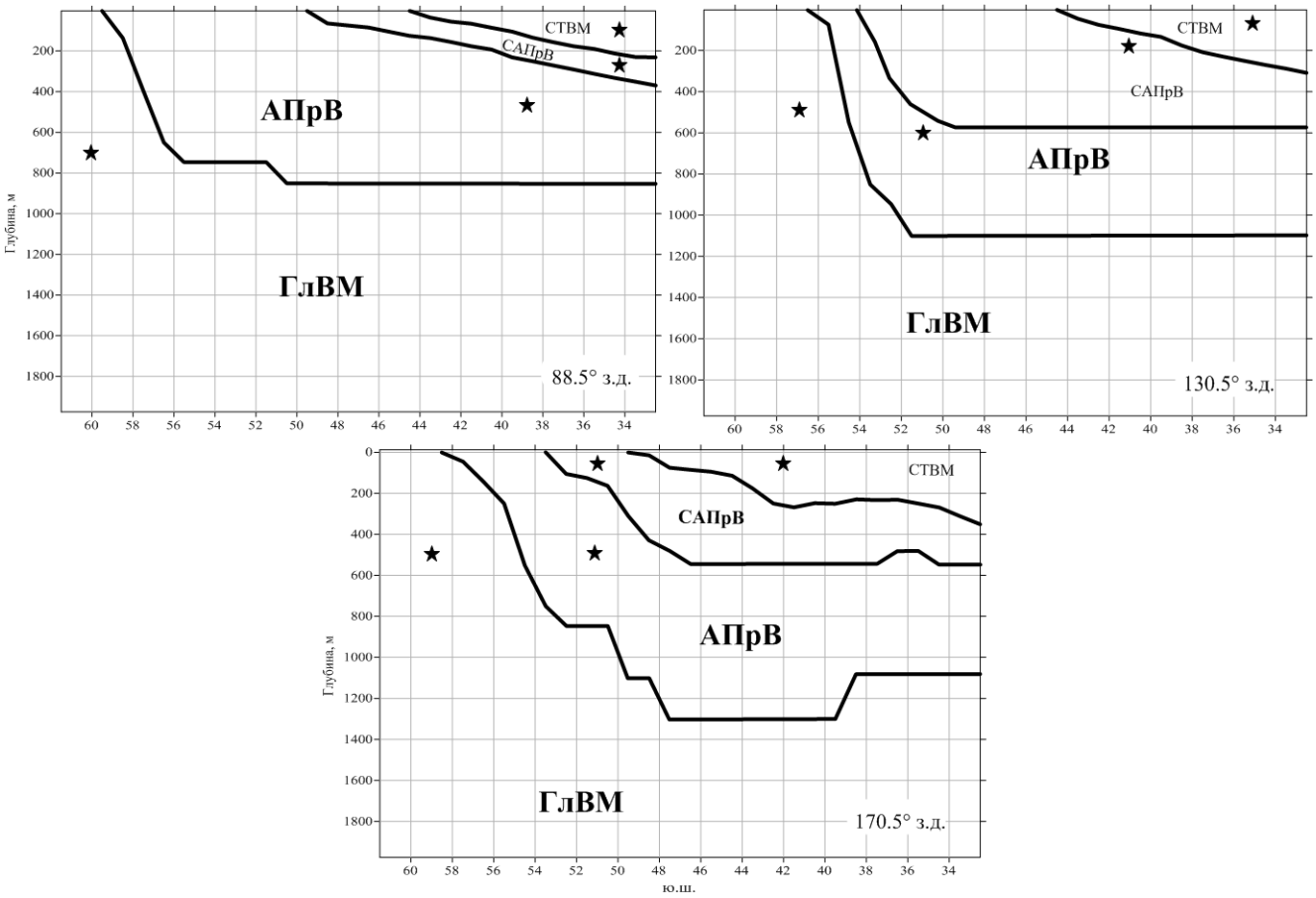


Рисунок 3.4 − Распределение водных масс на меридиональных разрезах (Рисунок 3.1) по среднемноголетним данным; звезды – местоположение ядер водных масс; толстые черные линии – границы водных масс; ГлВМ – глубинная водная масса; АПрВ – промежуточная водная масса антарктического происхождения; САПрВ – субантарктическая промежуточная водная масса; СТВМ – субтропическая поверхностная водная масса (Бородин, 2014б)

Наибольшую площадь на поверхности АПрВ занимает в восточной части ЮТО, распространяясь от 50 до 60° ю.ш. (Рисунок 3.4). В западной части она занимает полосу шириной 4°. В центральной – 2°. Верхняя граница по глубине совпадает с нижней границей САПрВ. Нижняя граница опускается от 850 м в восточной части ЮТО до 1300 м в западной части района, что в целом совпадает с результатами, полученными в (Кошляков, Тараканов, 2005). 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 (Бородин, 2014б).

Результаты для ГлВМ нельзя считать полностью репрезентативными, поскольку для этой ВМ была определена только ее верхняя граница, которая, как и в других случаях совпадает с нижней границей, настилающей водной массы, а именно с АПрВ.

3.1.2 Межгодовая изменчивость вертикальной структуры водных масс в южной части Тихого океана

Межгодовая изменчивость вертикальной структуры водных масс не рассматривалась до этого, и будет рассмотрена впервые.

По сравнению с предыдущим разделом где использовалась одна матрица, содержащая в себе среднемноголетние данные температуры и солености, для изучения межгодовой изменчивости структуры было сформировано 10 матриц (по количеству лет с 2004 по 2013 г.). Анализ проводился для трех разрезов (Рисунок 3.1). Стандартизация данных производилась относительно всей выборки. Для каждого набора лет проводился кластерный анализ.

Сравнение выборочных средних, проводившееся для проверки идентичности водных масс на разных разрезах показало следующие результаты (Таблица 3.2).

Результаты оценки равенства выборочных средних представлены в Таблице 3.2 только для классов 1 (ГлВМ) и 2 (АПрВ). Результаты проверки для классов 3 (САПрВ) и 4 (СТВМ) показали несоответствие средних в 100 % случаев, что вполне объясняется тем, что поверхностные воды подвержены гораздо большей трансформации по сравнению с промежуточными и глубинными.

Как и ожидалось, для класса 1 обнаруживается соответствие выборочных средних в 87 % случаев на трех разрезах (Таблица 3.2). Можно предположить, что данный класс однороден на всем протяжении ЮТО, это вполне объясняется ассоциацией этого класса с ГлВМ, которая не подвергается сильной изменчивости как в межгодовом, так и в климатическом масштабе. Класс 2 показал однородность выборочных средних для разрезов 130,5° и 170,5° з.д. в 70 % случаев (Таблица 3.2). Значит к западу от 130,5° з.д. второму классу соответствует примерно однородная водная масса. Несоответствие

средних между разрезами по 88,5° – 130,5° и 88,5° – 170,5° з.д. (Таблица 3.2) может быть объяснено наименьшей трансформацией водной массы соответствующей классу 2 на разрезе 88,5° з.д. Это объясняется тем что соответствующая классу 2 АПрВ на востоке ЮТО находится в наименее трансформированном состоянии.

Таблица 3.2 – Статистические характеристики 1 и 2 классов и результаты проверки нулевой гипотезы о равенстве выборочных средних класса для разрезов по 88,5, 130,5 и 170,5° ю.ш. (выделены эмпирические критерии t*, отражающие выполнение гипотезы)

		Среднее по классу			Дисперсия в классе			Кол-во точек в классе			88,5/130,5		88,5/170,5		130,5/170,5	
Кл.	Год	88,5	130,5	170,5	88,5	130,5	170,5	88,5	130,5	170,5	$t_{кр}$	t*	$t_{кр}$	t*	$t_{кр}$	t*
1	2004	34,45	34,42	34,44	0,03	0,06	0,06	531	613	509	1,96	**1,92**	1,96	**0,96**	1,96	**0,83**
1	2005	34,45	34,42	34,43	0,03	0,06	0,06	536	620	523	1,96	2,10	1,96	**1,70**	1,96	**0,31**
1	2006	34,41	34,40	34,40	0,04	0,05	0,06	681	710	644	1,96	**0,88**	1,96	**0,69**	1,96	**0,15**
1	2007	34,39	34,39	34,38	0,04	0,05	0,06	755	760	729	1,96	**0,83**	1,96	**0,89**	1,96	**1,57**
1	2008	34,45	34,42	34,41	0,03	0,06	0,07	539	620	548	1,96	2,28	1,96	2,85	1,96	**0,67**
1	2009	34,44	34,41	34,43	0,04	0,07	0,07	542	635	517	1,96	2,16	1,96	**0,49**	1,96	**1,48**
1	2010	34,40	34,39	34,40	0,04	0,07	0,06	680	723	633	1,96	**0,64**	1,96	**0,04**	1,96	**0,54**
1	2011	34,44	34,41	34,44	0,04	0,07	0,06	530	625	506	1,96	2,18	1,96	**0,09**	1,96	**1,91**
1	2012	34,38	34,40	34,38	0,04	0,06	0,06	747	746	699	1,96	**1,81**	1,96	**0,26**	1,96	**1,39**
1	2013	34,45	34,43	34,42	0,03	0,06	0,06	514	604	509	1,96	**1,87**	1,96	2,34	1,96	**0,52**
2	2004	34,21	34,26	34,26	0,01	0,01	0,02	659	310	347	1,96	9,76	1,96	6,91	1,96	**0,78**
2	2005	34,21	34,27	34,26	0,01	0,01	0,02	595	267	324	1,96	8,94	1,96	6,33	1,96	**0,92**
2	2006	34,20	34,27	34,27	0,00	0,01	0,02	622	283	293	1,96	15,48	1,96	11,16	1,96	**0,10**
2	2007	34,20	34,27	34,30	0,00	0,00	0,01	522	211	199	1,96	14,95	1,96	17,10	1,97	3,42
2	2008	34,21	34,28	34,26	0,00	0,01	0,02	758	388	395	1,96	15,28	1,96	7,76	1,96	**1,92**
2	2009	34,21	34,28	34,24	0,00	0,01	0,03	635	277	343	1,96	11,90	1,96	3,48	1,96	3,50
2	2010	34,20	34,28	34,25	0,00	0,00	0,02	603	251	279	1,96	18,96	1,96	7,54	1,96	3,25
2	2011	34,20	34,26	34,25	0,01	0,01	0,02	622	283	335	1,96	9,88	1,96	5,92	1,96	**1,40**
2	2012	34,19	34,25	34,27	0,00	0,01	0,02	441	167	155	1,96	11,44	1,96	10,51	1,97	**1,06**
2	2013	34,21	34,27	34,26	0,01	0,01	0,02	779	398	406	1,96	12,60	1,96	8,17	1,96	**1,03**

На Рисунке 3.5 приводится межгодовая изменчивость положения вертикальных границ водных масс за период 2004-2013 гг., которые выделялись для каждого года и потом определялся размах их колебаний по разности максимального и минимального значения. Нетрудно видеть, что глубина положения верхней границы ГлВМ изменялась в пределах глубин от 700 до 1 200 м в восточной части ЮТО и в пределах 1 100-1 400 м в западной части ЮТО (Бородин, 2014б). Нижняя граница везде находилась глубже 2 000 м.

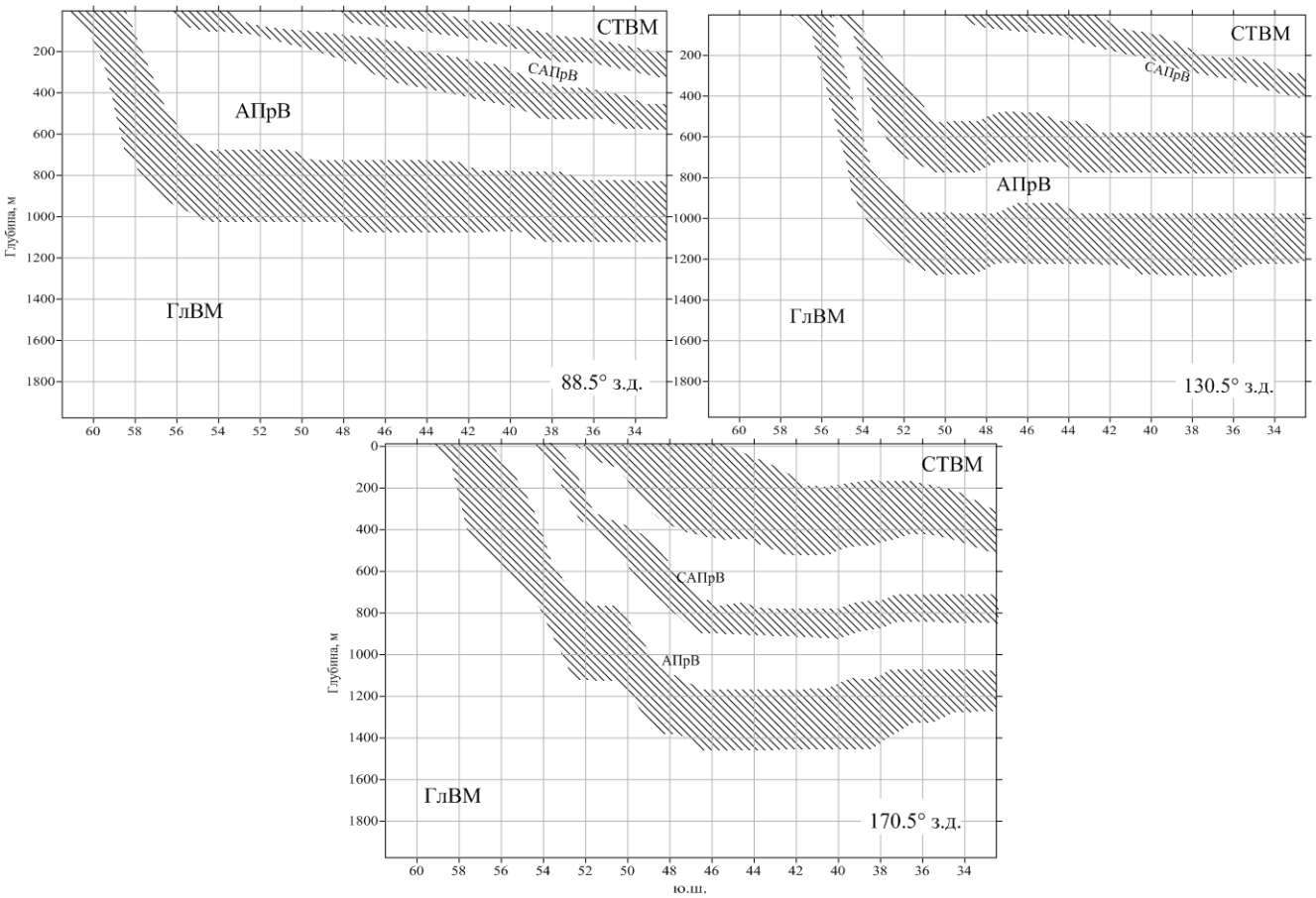


Рисунок 3.5 – Пределы изменения границ водных масс для трех разрезов с 2004-2013 гг., выделенные с использованием кластерного анализа на основе данных проекта Argo; ГлВМ – глубинная водная масса; АПрВ – промежуточная водная масса антарктического происхождения; САПрВ – субантарктическая промежуточная водная масса; СТВМ – субтропическая поверхностная водная масса (Бородин, 2014б)

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 (Бородин, 2014б). Если учитывать, что в работе (Кошляков, Тараканов, 2005) использовались данные, полученные в период 1991-1993, 1996 гг., то результаты данного исследования можно считать более репрезентативными, и в целом, они соответствуют полученным в (Кошляков, Тараканов, 2005) результатам. Верхняя граница АПрВ соответствует нижней границе САПрВ. Максимальная глубина верхней границы САПрВ увеличивается с запада на восток от 200 до 500 м.

В результате анализа пространственной изменчивости положения границ водных масс было выявлено, что на разрезе 88,5° з.д. отмечается синхронное изменение всех

границ водных масс, и, следовательно, их объемы изменяются пропорционально друг другу (Бородин, 2014б). 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 здесь залегает водная масса, тем больше амплитуда изменения ее границ (Рисунок 3.5). На разрезе 170,5° з.д. максимальный размах имеет граница между СТВМ и САПрВ. Это объясняется тем, что в данной части океана вместе с южным субтропическим круговоротом с севера поступает теплая и соленая вода, разбавляя более холодную и пресную воду, поэтому нижняя граница СТВМ в этой зоне океана имеет максимальную амплитуду изменчивости своего положения (Бородин, 2014б).

3.2 Исследование пространственно-временной изменчивости мезомасштабных вихрей в южной части Тихого океана

Важным фактором водообмена между поверхностным квазиоднородным слоем и глубинным слоем является наличие в районе вихрей разного знака для обеспечения подъема и опускания вод. В разделе исследуется обзор распределения основных параметров, а также межгодовая изменчивость вихрей на акватории ЮТО. В процессе работы использовались следующие массивы данных: база данных о состоянии высоты уровня океана − AVISO, а также массив Челтона, который содержит информацию о развитии вихрей во всем Мировом океане. Более подробно об этих источниках можно прочитать в разделе 2.1.

3.2.1 Пространственное распределение вихрей и их параметров

Исследование проводится на основании информации о вихрях, выделенных для акватории 20-65° ю.ш. и 75-180° з.д. Известно множество работ об исследовании уровенной поверхности океана, однако, работ об исследовании распределения

параметров вихрей не так уж много, среди них (Chaigneau, Pizzaro, 2005; Chaigneau et al., 2008; Chelton et al., 2007; Isern-Fontanet et al., 2003; Spall, 2000).

Выборка из общей базы показала, что на акватории ЮТО в период с 1993 по 2010 гг. находилось 37 632 вихря. В преобладающем большинстве это были нелинейные вихри (90 % от общего количества вихрей). Согласно (Chelton et al., 2011) все вихри, которые находятся за пределами тропиков, являются нелинейными по причине того, что на них воздействует большая сила Кориолиса, чем на вихри, которые находятся в тропической части океана.

Линейная теория движения жидкости предполагает, что скорости вращающегося столба жидкости ненамного отличатся друг от друга (Гринспен, 1975), нелинейность заключается в обратном, т.е. скорости вращающейся жидкости имеют значительные отличия. Для рассмотрения способности вихря переносить жидкость и ее свойства, используется адвективный параметр нелинейности, который заключается в соотношении скорости вращения вихря и скорости его передвижения и который согласно (Chelton et al., 2011) является наиболее эффективным. Согласно авторам (Chelton et al., 2011), если нелинейность вихря ≥ 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) является слабо нелинейными – их индекс нелинейности не превышает 20, оставшиеся 19 % являются сильно нелинейными, их индекс нелинейности превышает 30 и достигает максимального значения 50. Как и ожидалось, акватория распространения вихрей с наибольшим параметром нелинейности расположена в области АЦТ (Рисунок 3.6), т.е. условно можно сказать, что параметр нелинейности: во-первых, прямо пропорционален амплитуде вихря (Рисунок 3.9) и скорости вращения (Рисунок 3.11) и обратно пропорционален его радиусу (Рисунок 3.10).

Следует сказать, что циклонические вихри, более нелинейные, чем антициклонические. Это объясняется тем, что скорость вращения у циклонов больше чем у антициклонов.

Согласно анализу массива, выясняется, что количество циклонических вихрей со средним временем жизни 13 недель и антициклонов со средним временем жизни 14 недель, составляет 59 % от общего количества. Максимальное время жизни циклонического вихря составляет 236 недель, антициклонического – 281 неделя.

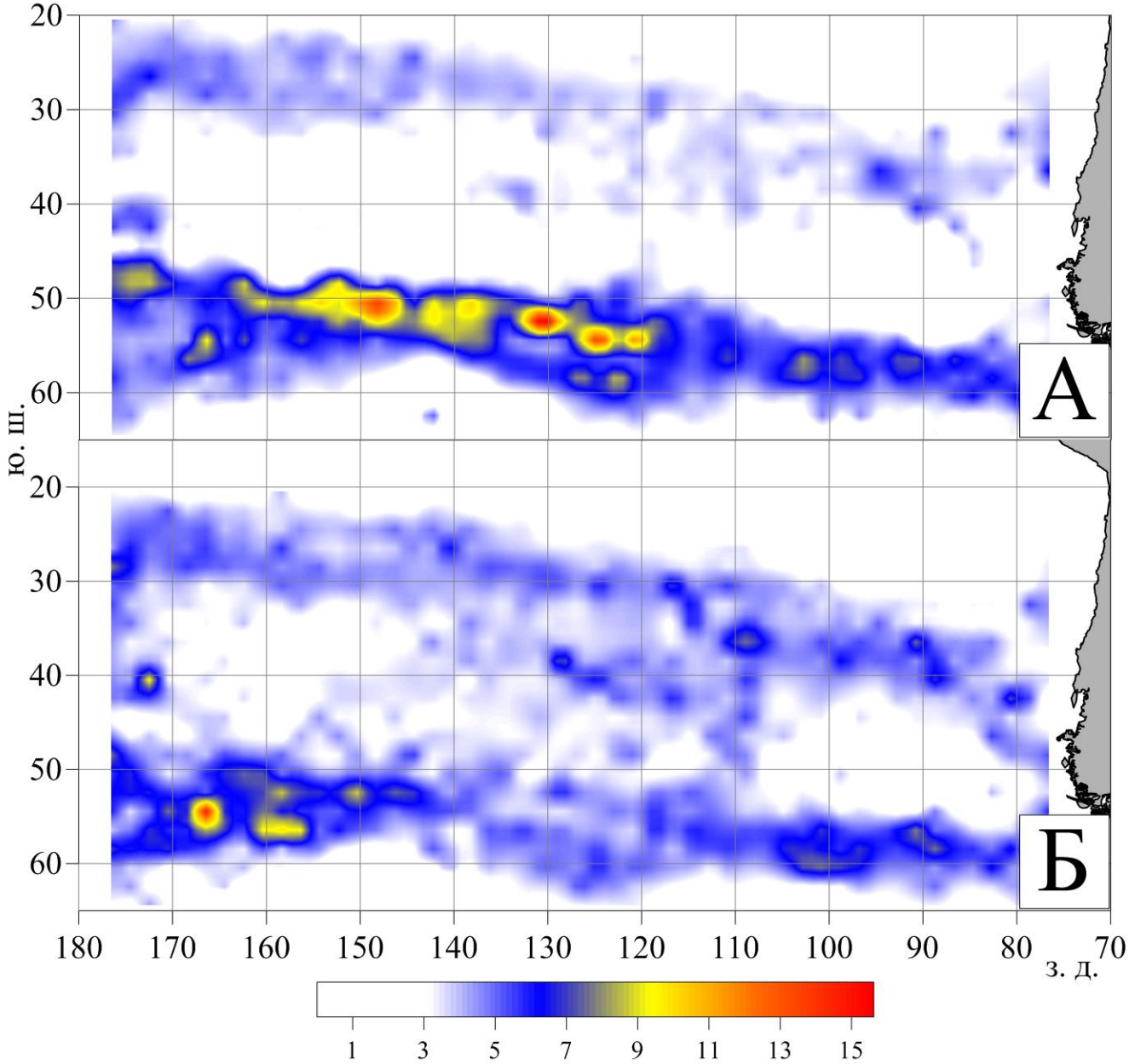


Рисунок 3.6 – Распределение параметра нелинейности мезомасштабных океанических вихрей (А – циклонов, Б – антициклонов) осредненного для всего периода наблюдений с 1993 по 2010 гг. (Бородин, 2014а)

Из графика (Рисунок 3.7) видно, что большинство вихрей (как циклонов, так и антициклонов) проходит расстояние 300-400 миль, при этом у вихрей которые прошли гораздо большую дистанцию наблюдается небольшое преобладание количества циклонических вихрей над антициклоническими. Эти вихри, количество которых составляет 8 779 (24 % от общего числа вихрей), имеют среднее время существования − 35 недель и среднее расстояние распространения – 418 миль.

Из графика (Рисунок 3.7) видно, что количество вихрей убывает с увеличением дистанции распространения. Число вихрей с дистанцией распространения 500, 1 000,

1 500, и более 2 000 миль было 1 208, 169, 36 и 16 соответственно. Число вихрей со временем жизни 30, 50, 100 и 200 было 3 173, 843, 108 и 8 соответственно.

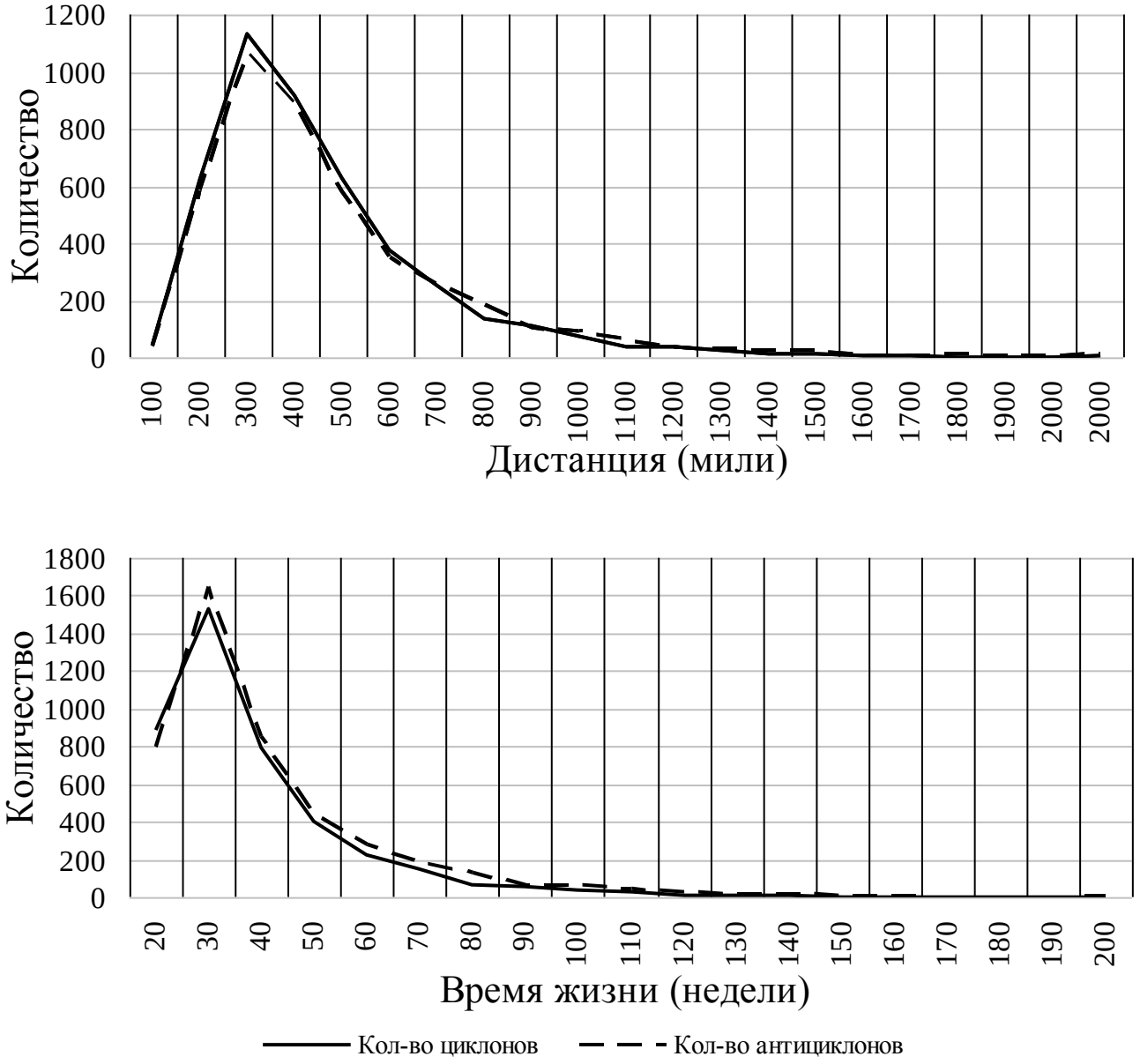


Рисунок 3.7 – Гистограмма зависимости количества циклонических и антициклонических вихрей от пройденной ими дистанции и их времени жизни для акватории ЮТО (рассчитано на основе Mesoscale eddies…)

В первом приближении видно, что форма кривых на гистограммах (Рисунок 3.7) − идентичны. При этом из графика времени жизни вихрей видно − время жизни антициклонов несколько превосходит время жизни циклонов для дистанции характерна противоположная ситуация.

74 % от общего числа анализируемых вихрей имеют преимущественно западное направление в зональном распространении, половина из этих вихрей имеет северное направление в меридиональном распространении.

Для выполнения дальнейшего анализа вся акватория ЮТО, для которой проводится исследование вихрей, была разделена на двухградусные квадраты, в результате получилась регулярная сетка, включающая 1 173 узла, которые равномерно покрывают район ЮТО. Для каждого квадрата было посчитано количество циклонических и антициклонических вихрей, отдельно для каждого месяца каждого года. Так же в алгоритме расчета количества вихрей, отдельно для циклонов и антициклонов, предусмотрено усреднение таких параметров как амплитуда, диаметр и скорость вращения вихрей, которое так же вычисляется для каждого узла и каждого месяца каждого года. В результате такого преобразования становится возможным применение методов статистической обработки информации, что позволяет выделить основные районы локализации циклонов, антициклонов, а также позволяет классифицировать их по основным параметрам (амплитуда, диаметр, скорость вращения).

Для оценки общей картины состояния локализации циклонов и антициклонов приводится карта количественной разницы вихрей разного знака (Рисунок 3.8). Для ее получения, в каждом узле регулярной сетки была посчитана разница между общим количеством циклонических и антициклонических вихрей, наблюденных в период с 1993 по 2010 гг.

Первое, на что стоит обратить внимание, это зональная структура распределения циклонов и антициклонов. Так на акватории к югу от 45° ю.ш. и к северу от 25° ю.ш. наблюдается явное преобладание в количестве циклонических вихрей, а значит, здесь должен происходить подъем вод из промежуточных слоев в поверхностные. Обратная картина между 25° и 45° ю.ш.: в данной полосе преобладают антициклоны – происходит опускание вод (Бородин, 2014а). Можно сказать, что область «плотных упаковок» вихрей расположена между 42 и 48° ю.ш. (Рисунок 3.8). Наблюдение за перемещением вихрей дало следующие результаты: вихри, локализующиеся к северу от 45° ю.ш движутся на запад, а к югу от 45° ю.ш – на восток. Такое разнонаправленное движение объясняется наличием на акватории субантарктики АЦТ, которое ввиду своей скорости увлекает за собой океанические вихри мезо и синоптического масштаба.

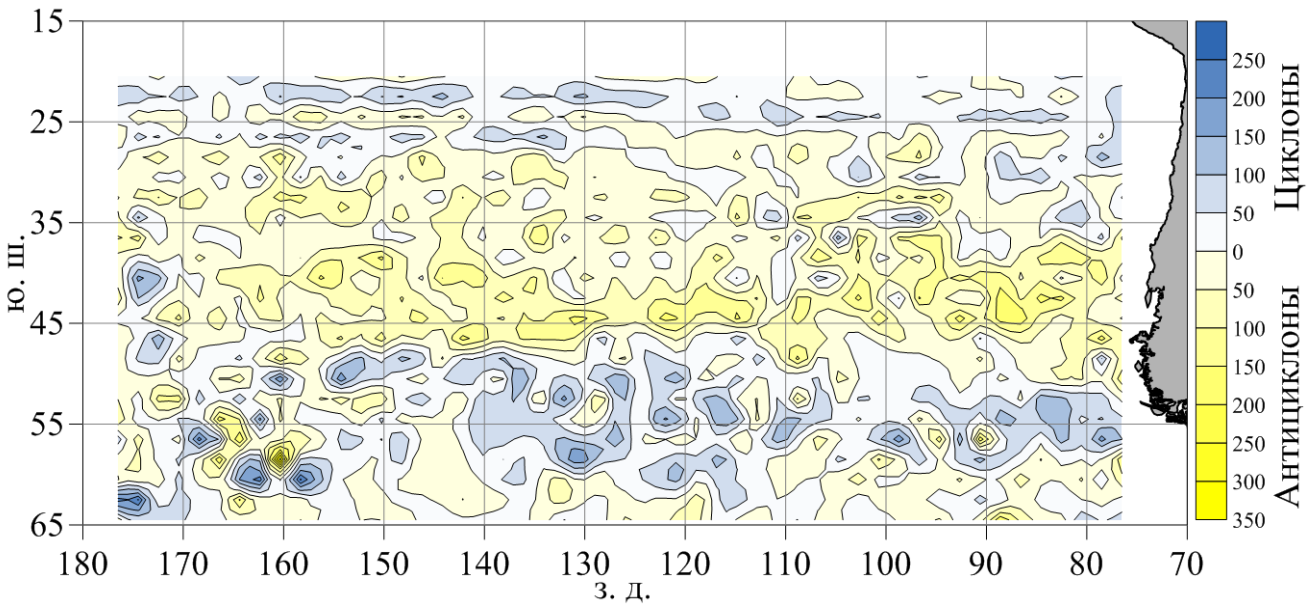


Рисунок 3.8 – Цветовое отображение разницы в количестве циклонических и антициклонических вихрей с 1993 по 2010 гг. (Бородин, 2014а)

Помимо количественного описания циклонов/антициклонов, следует подвергнуть рассмотрению такие их параметры как амплитуда, радиус и скорость вращения, для общей оценки вихревой динамики ЮТО.

Амплитуда вихрей. Согласно статье (Chelton et al., 2011), параметром «амплитуда» в массиве Челтона следует считать разницу между оценкой высоты уровня моря (ВУМ) на границе вихря и значением экстремума ВУМ в пределах вихря. Рисунок 3.9, отображает распределение амплитуды осредненной для каждого узла сетки, отдельно для циклонов и антициклонов.

Из него видно, что на 85 % акватории локализуются вихри, причем как циклонические, так и антициклонические, амплитуда которых не превышает 3 см и лишь на остальных 15 % акватории наблюдаются вихри, амплитуда которых превышает средние значения. Это означает, что величина амплитуды вихрей не зависит от знака вращения, но имеет сильную зависимость от географического положения, особенно на акватории сильных токов, это выясняется из анализа ее распределения (Рисунок 3.9), а так же из самой статьи (Chelton et al., 2011), в которой утверждается, что столь большое превышение средней амплитуды наблюдается в ограниченных районах, таких как АЦТ, Гольфстрим, Куросио, Восточно-Австралийское и др. Также на картах наблюдается существенная разница между средними значениями амплитуды циклонов и антициклонов. Среднее значение амплитуды циклонов для акватории южнее 45° ю.ш. составляет 2,45 см, антициклонов – 1,91 см. Такое превышение средних значений

амплитуды циклонов над антициклонами объясняется в статье (Chelton et al., 2011): такое явление вызвано влиянием центробежной силы, которая толкает жидкость наружу во вращающемся вихре (Gill, 1982), усиливая низкое давление в центрах циклонов и ослабляя высокое давление в центре антициклонов.

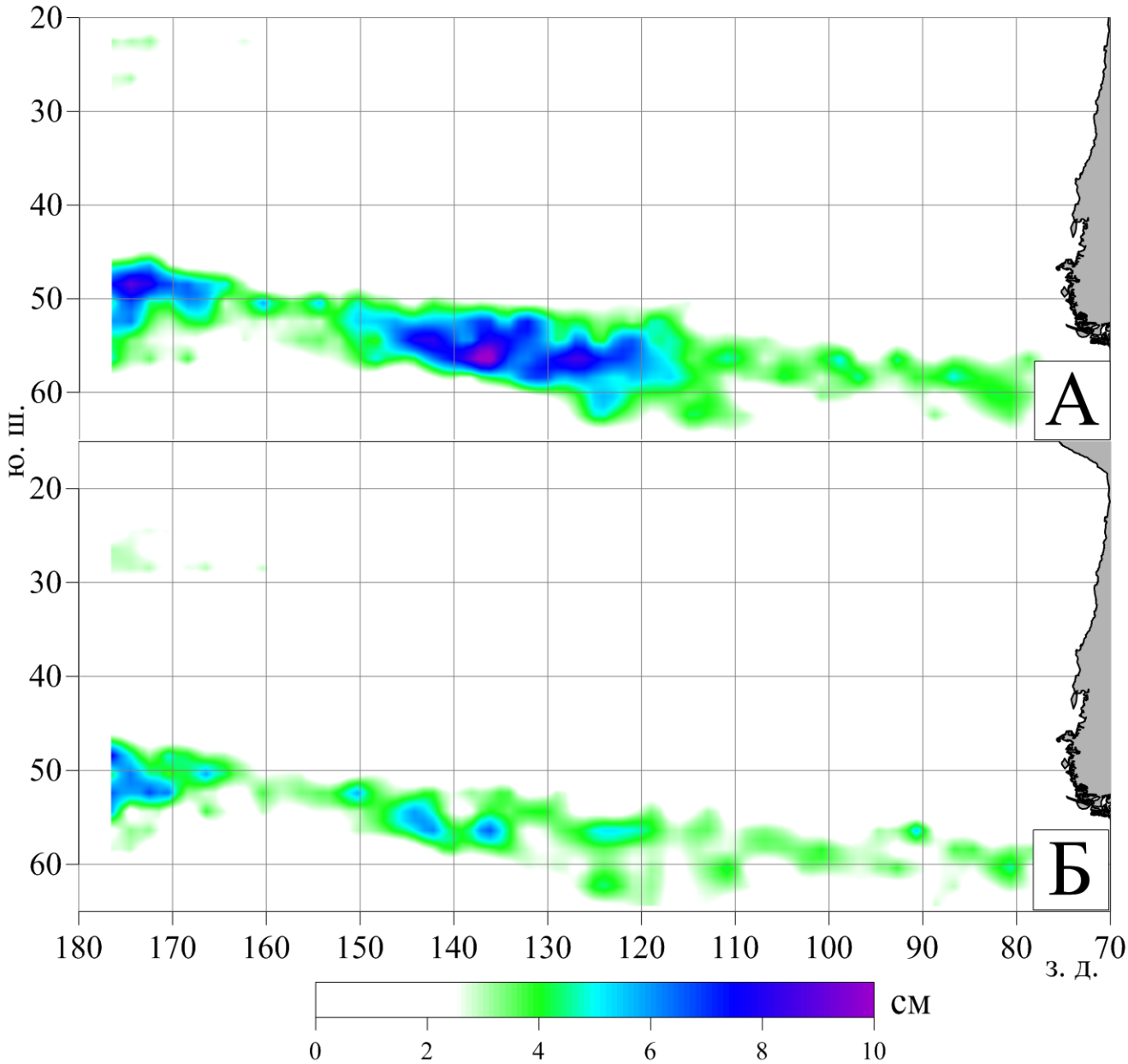


Рисунок 3.9 – Распределение амплитуды мезомасштабных океанических вихрей (А – циклонов, Б – антициклонов) осредненной для всего периода наблюдений с 1993 по 2010 гг. (Бородин, 2014а)

Радиус вихрей. Согласно статье (Chelton et al., 2011), масштабность вихря определяется его радиусом (Рисунок 3.10), а именно, радиусом круга с площадью, равной замкнутому контуру ВУМ вихря, в пределах которого наблюдается его максимальная

геострофическая скорость вращения. Эта масштабность так же соответствует радиусу, при котором относительная завихренность равна 0 (Chelton et al., 2011).

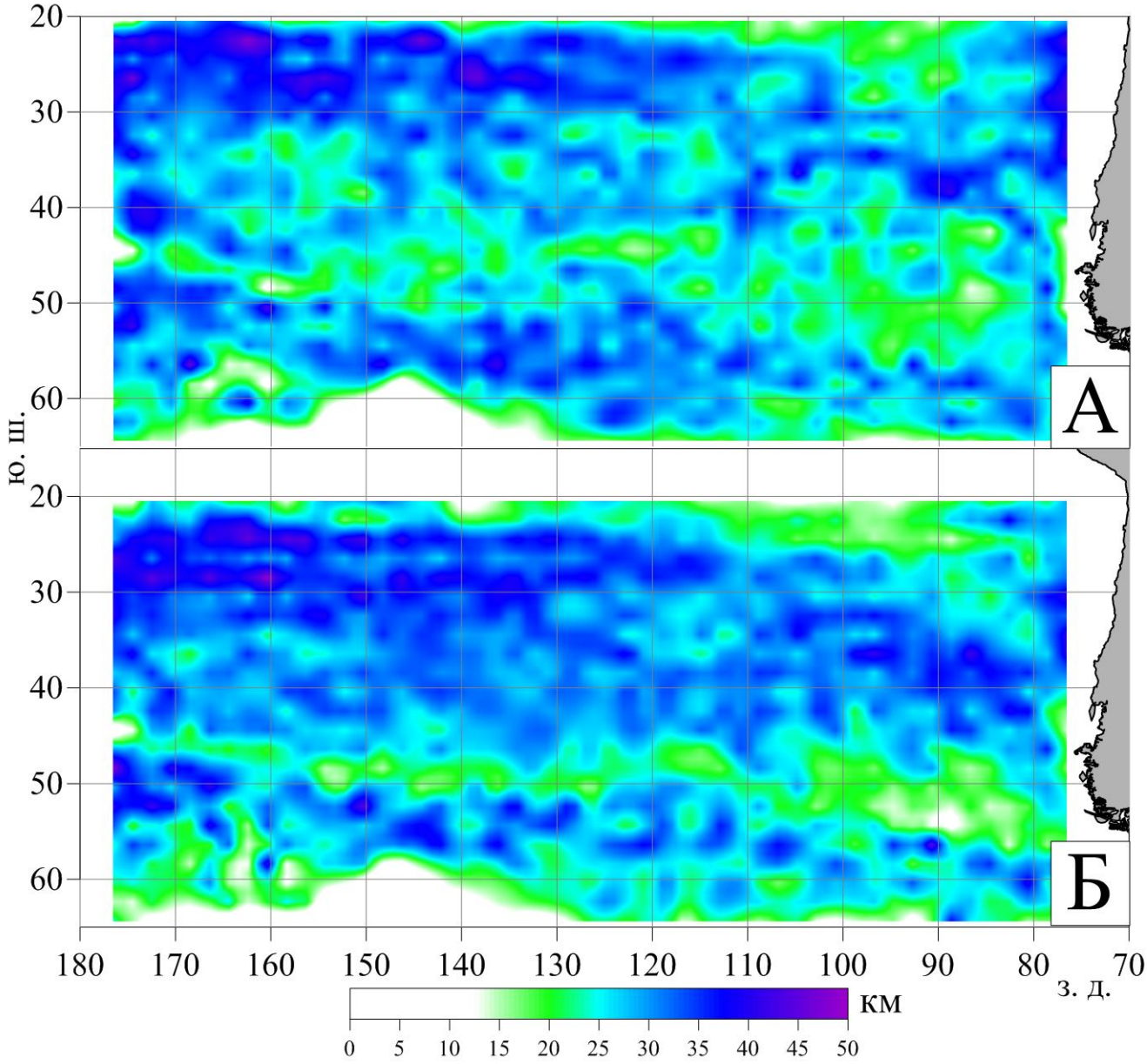


Рисунок 3.10 – Распределение радиуса мезомасштабных океанических вихрей (А – циклонов, Б – антициклонов) осредненного для всего периода наблюдений с 1993 по 2010 гг. (Бородин, 2014а)

При сравнении с распределением средней амплитуды (Рисунок 3.9), наблюдается обратная зависимость распределения. Разница в среднем значении радиуса между циклонами и антициклонами составляет 0,07 км. Если брать во внимание общую картину распределения радиуса вихрей, то наблюдается четкое увеличение радиуса при продвижении от полюсов к экватору. Следует принять во внимание, что вихри с большой амплитудой и радиусом имеют время жизни больше, чем вихри с маленькой амплитудой

и небольшим радиусом. При рассмотрении зависимости распределения радиуса от географического положения, также не наблюдается какой-либо существенной привязки к тем или иным районам, однако, в отличие от распределения амплитуды (Рисунок 3.9) и скорости вращения (Рисунок 3.11), наблюдается строгое зональное распределение радиуса с его увеличением при продвижении от полюсов к экватору без привязки к областям сильных токов.

Если учесть, что под радиусом вихря автор статьи (Chelton et al., 2011) имеет ввиду радиус, в пределах которого вихрь имеет максимальную среднюю геострофическую скорость, то такое распределение средних радиусов объясняется воздействием силы Кориолиса, которая непосредственно воздействует как на скорость передвижения вихря, так и на скорость вращения вихря в экваториальной части.

Скорость вращения вихрей. Под скоростью вращения вихря понимается максимальная средняя геострофическая скорость внутри замкнутого контура ВУМ внутри вихря, т.е. та же скорость, которая обозначена в определении масштабности вихря (см. радиус вихря).

При рассмотрении карт распределения средней скорости вращения циклонов и антициклонов (Рисунок 3.11) наблюдается пространственное распределение схожее с картами амплитуды вихрей (Рисунок 3.9).

Как и на картах распределения амплитуды, на большей территории локализуются вихри (как циклоны, так и антициклоны) со средней скоростью вращения 5 см/с. Области наибольшей скорости вращения, как и наибольшей амплитуды, соответствуют областям, в которых наблюдается максимальное значение СКО ТПО, т.е. зоне АЦТ (Рисунок 1.6). Разница средних значений скорости вращения циклонов и антициклонов составляет 0,65 см/с. Примечательным является тот факт, что циклоны и антициклоны, как по распределению амплитуды (Рисунок 3.9), так и по скорости вращения (Рисунок 3.11) сосредоточены в зоне АЦТ. А значит, область южнее 45° ю.ш. будет являться областью локализации вихрей с большой продолжительностью жизни.

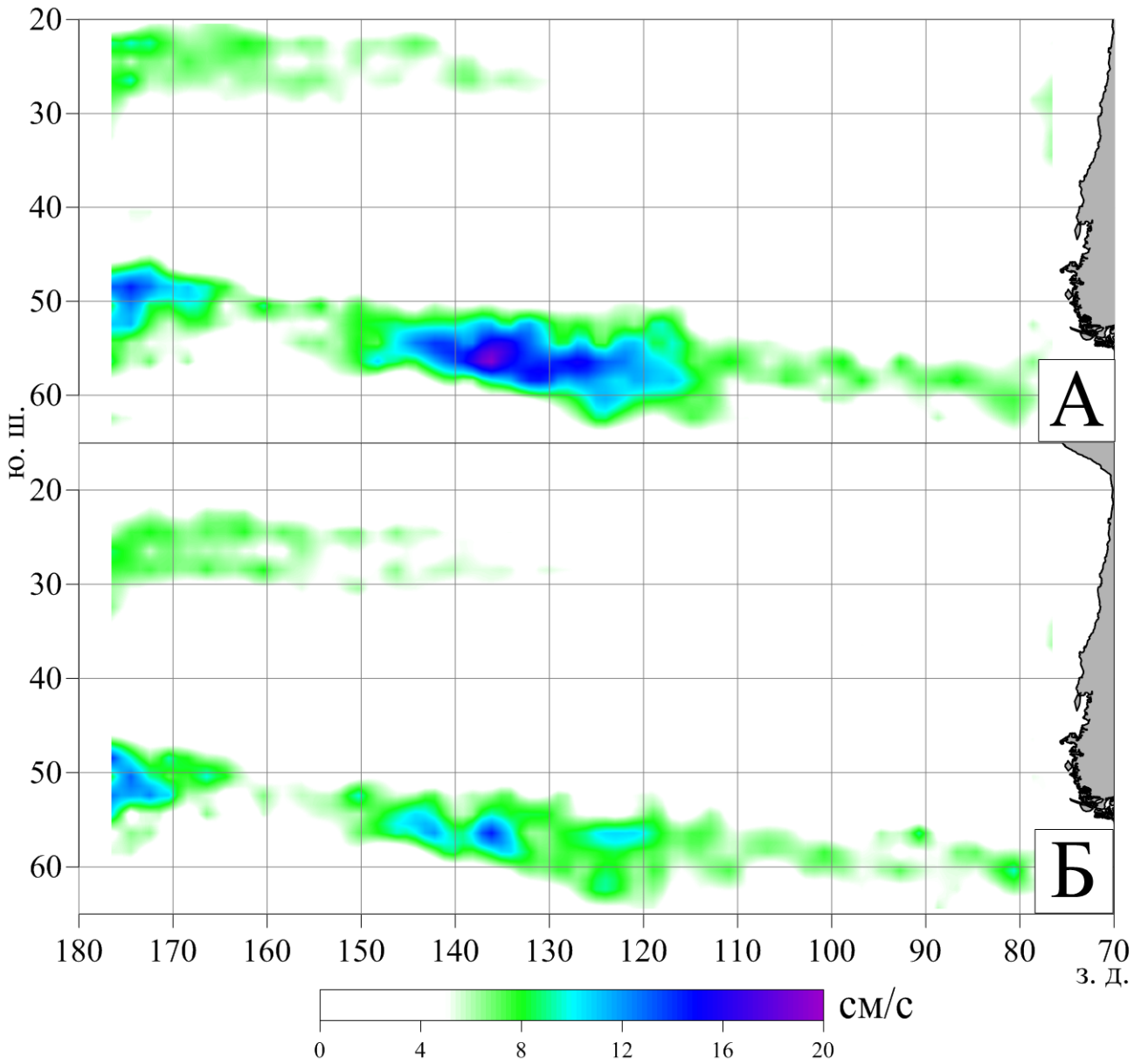


Рисунок 3.11 – Распределение скорости вращения мезомасштабных вихрей (А – циклонов, Б – антициклонов) осредненное для всего периода наблюдений с 1993 по 2010 гг. (Бородин, 2014а)

3.2.2 Временная изменчивость вихрей и их параметров

Для исследования сезонной и межгодовой изменчивости вихрей предварительно была произведена пространственно-временная классификация поля АДТ, поскольку именно это поле является исходным для построения поля аномалии АДТ, на основе которого производится выделение вихрей в массиве Челтона. При проведении классификации применялся кластерный анализ на основе иерархического алгоритма Уорда, дистанцией объединения являлось Евклидово расстояние, объектами

классификации служили 1 173 узла двухградусной сетки, признаками – среднегодовые значения абсолютной динамической топографии.

В пространственно-временной классификации четко выделяются 4 класса (Рисунки 3.12, 3.13), каждый из которых соответствует тем или иным значениям АДТ. Классы распределились следующим образом: самые большие среднемноголетние значения соответствуют классу 3 и находятся в диапазоне +112,07 – +57,83 см; узлы, попадающие в этот класс, имеют самое северное положение. Южнее происходит уменьшение значений АДТ, что и показывает распределение классов. Класс 1 включает узлы, имеющие среднемноголетние значение АДТ +58,96 – -5,96 см. Класс 2, включает узлы имеющие среднемноголетние значения АДТ -6,07 – -101,23 см. Класс 4 включает узлы с самыми низкими среднемноголетними значениями АДТ -102,19 – -130,54 см. Класс 4 не будет рассматриваться, поскольку располагается в Антарктике − на границе области антарктической дивергенции и области влияния АЦТ и его влияние на акваторию ЮТО минимальное.

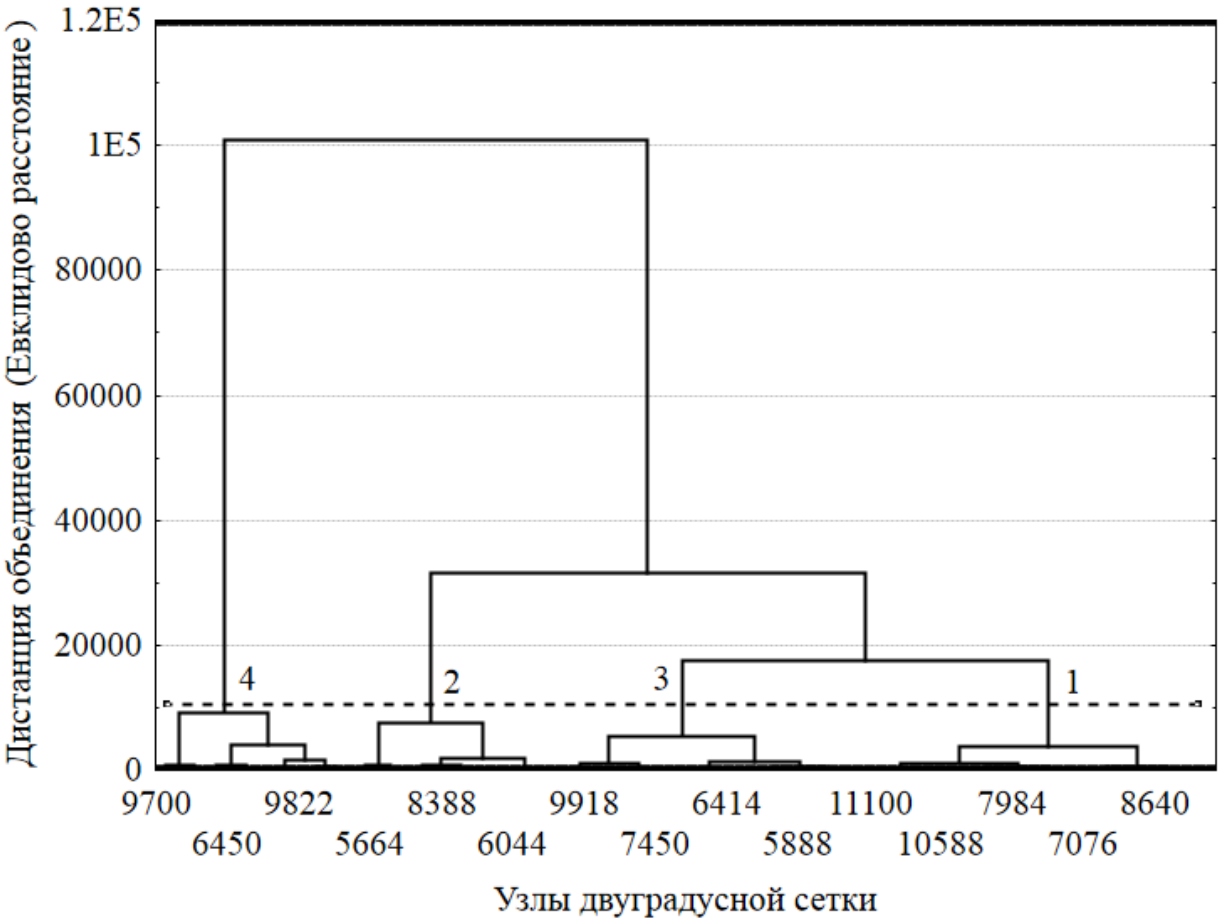


Рисунок 3.12 – Дендрограмма иерархической классификации значений АДТ по пространству методом Уорда (цифры в поле дендрограммы – номера классов на Рисунке 3.13)

Описание будет проводиться исходя из географического положения выделенных классов (с севера на юг), т.е. от класса с наибольшим значением АДТ к классу с наименьшим значением (3 => 1 => 2). Будет произведена попытка спектрального анализа основных параметров вихрей.

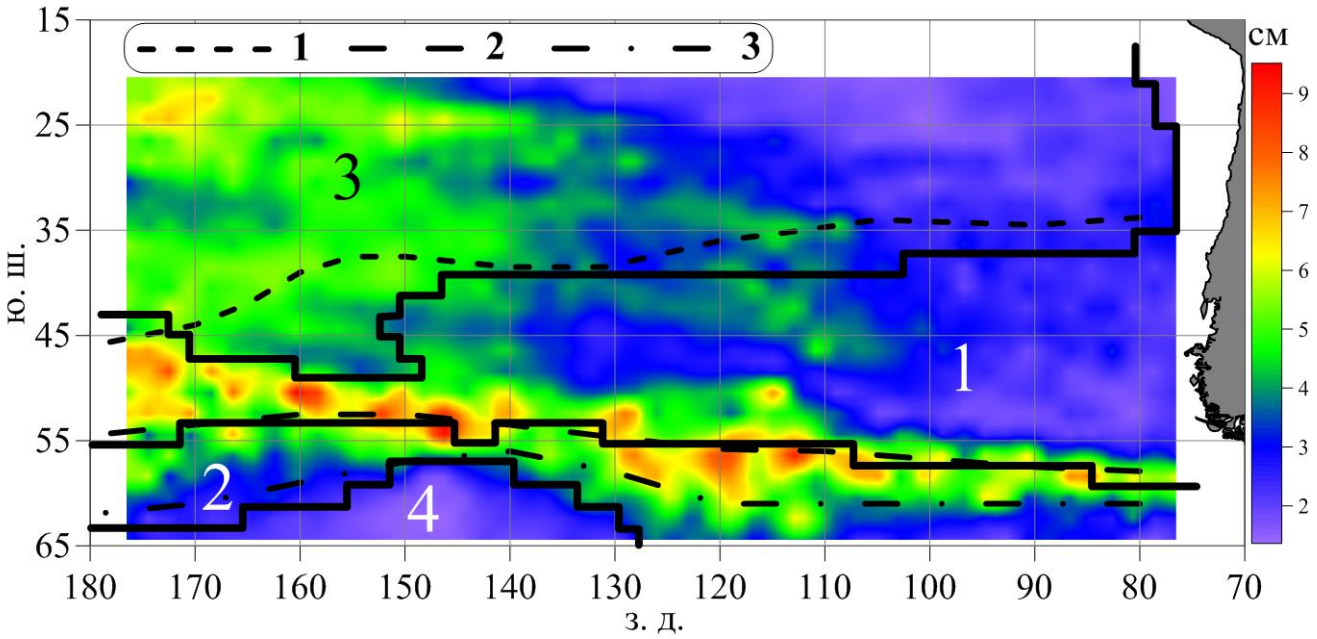


Рисунок 3.13 – Районирование ЮТО по результатам классификации поля АДТ по пространству (цифры − номер класса), черными сплошными линиями выделены границы классов; цветовое поле является распределением СКО АДТ (рассчитано на основе Archiving, Validation…); пунктирной линией обозначены океанические фронты выделенные в работе (Кошляков, Тараканов, 2005): 1 – Субтропический фронт, 2 – САФ, 3 – Южный полярный фронт

Географическое положение границ классов можно ассоциировать с океаническими фронтами. На Рисунке 3.13 нанесены среднемноголетние положения океанических фронтов, выделенных в работе (Кошляков, Тараканов, 2005). Особенно точно соответствует положение САФ. Видно, что субтропический фронт и ЮПФ находятся севернее по сравнению с границами классов, что вполне объяснимо: во-первых, разными типами данных – в (Кошляков, Тараканов, 2005) выделение фронтов происходило по данным солености, а положения границ классов (Рисунок 3.13) получены путем кластерного анализа поля АДТ; во-вторых, разными промежутками измерений на основе которых выделялись фронты в (Кошляков, Тараканов, 2005) и на основе которых производилась классификации поля АДТ. Однако два этих объяснения не умоляют того факта, что граница между классами 1 и 2 точно соответствует среднемноголетнему положению классического фронта (Рисунок 3.13).

Важно прокомментировать следующее: в межгодовом масштабе, параметры конкретного вихря ничего не дадут по той причине, что вихри имеют свойство рассеиваться (диссипировать). Когда же производится их осреднение для определенной акватории (в данной работе акваториями служат области, условно разделенные границами классов АДТ, см. Рисунок 3.13), в полученных рядах начинают проявляться циклы и межгодовая изменчивость. Причина этого состоит в том, что на большей акватории вихри локализуются постоянно и их общий вклад в изменчивость будет постоянен, именно за счет того, что площадь акватории является достаточной для постоянного нахождения на ней некоторого количества вихрей. Таким образом, к рядам, полученным в результате осреднения для определенной акватории применимы сглаживание, спектральный анализ. Кроме того, появляется возможность сравнивать их с другими рядами.

Класс 3 является наибольшим по площади − покрывает 45 % акватории. Его восточная часть принадлежит области минимального значения СКО (1-2 см), в то время, когда в западной части (западнее 130° з.д.) преобладают максимальные значения СКО (5-7 см). Северная часть класса находится под влиянием циклонов, а южная − антициклонов. Суммарные месячные изменения количества циклонов и антициклонов хорошо коррелируют друг с другом (r = 0,87). На всем временном промежутке наблюдается преобладание количества антициклонов над циклонами. При сравнении суммарного месячного количества циклонов и антициклонов присутствуют месяцы, когда количество циклонов превосходит количество антициклонов, хотя и такое превосходство незначительно (от 50 до 60 штук). Для всех параметров вихрей, включая их количество, наблюдается единая закономерность годового хода, а именно: высокие значения в декабре-феврале и низкие в апреле-июне.

Анализ параметра амплитуды показал, что в межгодовом масштабе средняя амплитуда антициклонов также превышает среднюю амплитуду циклонов.

Сравнение зависимости количества вихрей (обоих знаков) от амплитуды показывает, что с увеличением амплитуды количество циклонов и антициклонов уменьшается. В географическом расположении, антициклоны со значением амплитуды > 20 см располагаются преимущественно в области максимального значения СКО АДТ (Рисунок 3.14) Так же нужно отметить, что эти вихри стационируются преимущественно в области превышения количества циклонов над количеством антициклонов.

После удаления годового хода, спектральный анализ показал наличие 5-ти летнего цикла (≈ 5,6).

Гистограмма изменения количества циклонов/антициклонов в зависимости от радиуса и амплитуды показала, что изменение происходит по той же схеме, что наблюдается на гистограмме (Рисунок 3.7). Изменение количества циклонов уменьшается с увеличением радиуса. Максимальное количество циклонов/антициклонов (1 750-2 000) соответствует радиусу 70-85 км. Примечательным является то, что при увеличении радиуса от 40 до 70 км происходит резкое увеличение количества вихрей, при дальнейшем же увеличении радиуса от 85 км и более, наблюдается их уменьшение.

Спектральный анализ ряда радиуса показал наличие 4-5-ти летнего цикла.

По географическому расположению, вихри (обоих знаков), равномерно расположены по пространству класса, и не имеют подразделения по радиусу.

Исследование скорости вращения вихрей класса 3 показало, что изменение количества вихрей обоих знаков имеет зависимость от радиуса, идентичную зависимости от амплитуды, т.е. на интервале от 2 до 8 см/с количество вихрей резко возрастает и начиная от 8 и до 25 см/с уменьшается. Спектральный анализ межгодовой скорости вращения вихрей обоих знаков показал, что имеет место 5-летний цикл (≈ 5,6).

Распределение антициклонов, со скоростью вращения > 18 см/с, подобно распределению амплитуды и приурочено к области максимального значения СКО АДТ (Рисунок 3.14), т.е. к северо-западной области класса 3.

Построение корреляционной матрицы межгодовых рядов различных параметров вихрей дало следующие результаты: количество циклонов напрямую связано с их радиусом (r = 0,9), а амплитуда связана со скоростью вращения (r = 0,95); в отношении антициклонов значительная связь обнаруживается только между амплитудой и скоростью вращения (r = 0,93).

<u>Класс 1</u> покрывает 33 % акватории. СКО АДТ распределено по территории класса неравномерно и имеет повышенное значение в зоне сужения (на западе), а также продолжается на восток, вдоль границы со вторым классом. Это происходит из-за того, что граница первого и второго класса условно представляет собой ось АЦТ и в этом случае, в класс попадает северная ветвь АЦТ.

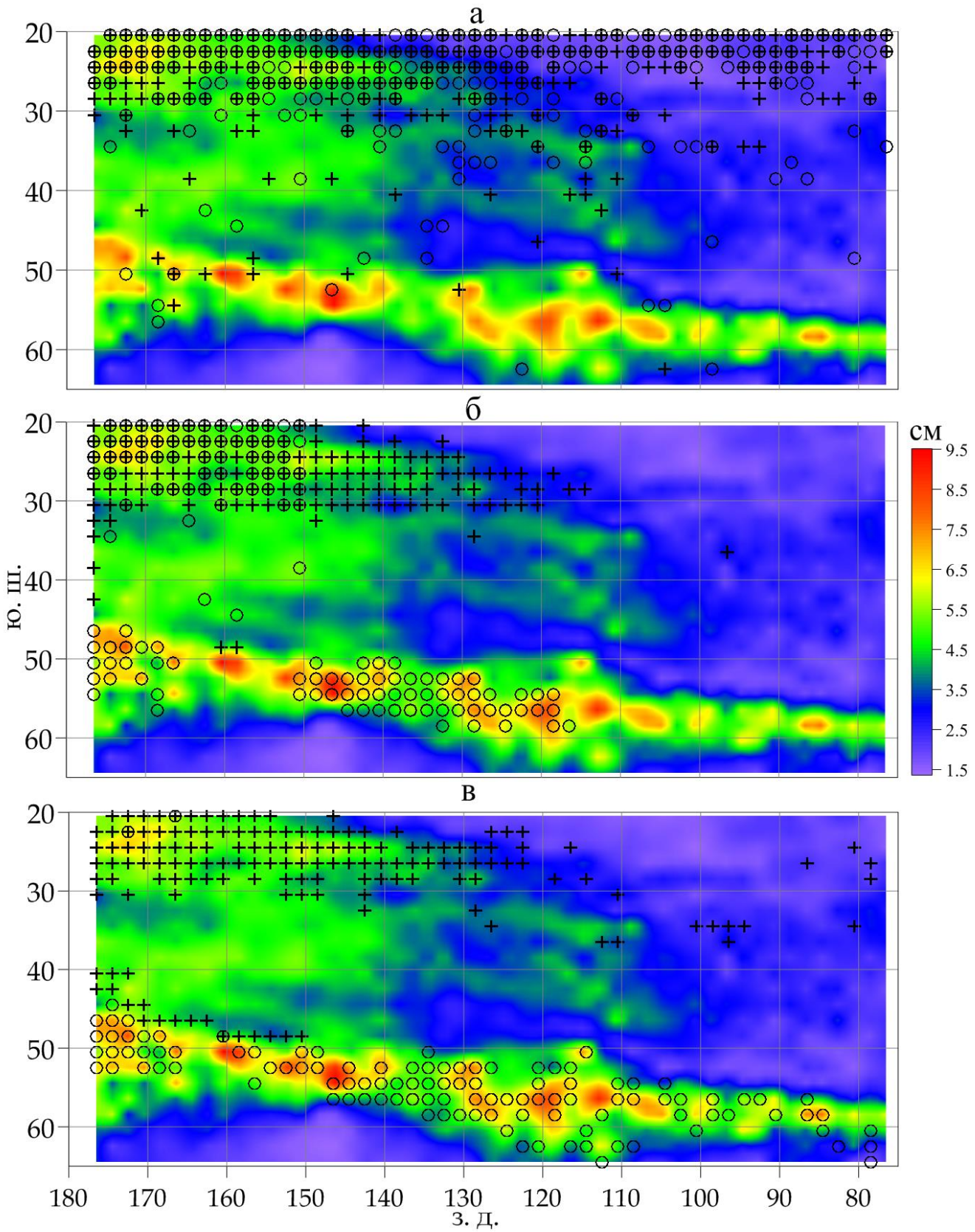


Рисунок 3.14 – Распределение СКО АДТ; следующими значками выделены двухградусные квадраты для: О – циклонов, + – антициклонов; **а** – вихри с радиусом > 150 км, **б** – циклоны со скоростью вращения > 40 см/с, антициклоны со скоростью вращения более 20 см/с; **в** – вихри с амплитудой более 20 см. (посчитано на основе Mesoscale eddies…) (Бородин, 2014а)

Северная часть класса находится под влиянием антициклонов, на юге же преобладают циклоны (Рисунок 3.8). Это говорит о том, что в области воздействия АЦТ преобладают циклонические вихри. Рассматривая статистику класса за 18 лет (с 1993 по 2010 гг.), наблюдается преобладание антициклонических вихрей. Изменение количества циклонических и антициклонических вихрей, а также их параметров, хорошо коррелируют друг с другом (минимальная корреляция, r = 0,68). В цикличности явно проявляется 3-х месячный цикл, который, скорее всего, связан со средней продолжительностью жизни вихря.

На акватории класса 1, как и класса 3, зависимость количества вихрей от их основных параметров происходит по ранее обозначенной схеме (см. Рисунок 3.7), т. е. резкое увеличение количества вихрей для минимальных значений и плавное уменьшение количества вихрей с увеличением параметров, это касается и амплитуды, и радиуса, и скорости вращения. Особенностью амплитуды вихрей является преобладание максимальных значений у циклонов, так же примечательно то, что это противоположно ситуации для класса 3, где максимальное значение амплитуды соответствовало антициклонам. Анализ периодичности показал, что изменение амплитуды, радиуса циклонов и антициклонов происходит с 4-х летней периодичностью. В периодичности изменения скорости вращения циклонов имеет место преобладающая 9-ти летняя периодичность, а в периодичности антициклонов – 4-х летняя.

Исследование связи между рядами показало следующие результаты: количество циклонов связано с их радиусом (r = 0,94), их амплитуда связана 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, имеет место связь амплитуды и скорости вращения (r = 0,90).

<u>Класс 2</u> покрывает 16 % акватории ЮТО. Можно предположить, что в пространство класса попадает южная ветвь АЦТ. Класс 2 находится под влиянием циклонов – особенно на севере, на юге же находятся области смешения циклонических и антициклонических вихрей. Следует отметить также то, что на западе находится долговременная стационарная область взаимодействия циклонических и антициклонических вихрей (Рисунок 3.8), т. е. в области 155-170° з.д. 55-65° ю.ш. находятся 4 области многолетнего преобладания циклонических вихрей и 4 области преобладания антициклонических вихрей.

На протяжении 18 лет в пространстве класса всегда преобладали циклонические вихри. Изменение количества вихрей этого класса коррелируется друг с другом хуже всего (r = 0,38). Как и для двух уже рассмотренных классов, изменение количества вихрей в зависимости от их параметров происходит по идентичной схеме: резкое увеличение количества вихрей при малом значении их параметров и плавное снижение их количества при дальнейшем увеличении значений параметров. В изменении амплитуды количества циклонов преобладает 4-х летняя, а антициклонов 5-ти летняя периодичность, подобная картина характерна и для других параметров вихрей, т.е. в параметрах циклонических вихрей преобладает 4-х летняя, а в параметрах антициклонических – 5-ти летняя.

Следует отметить, что пространство класса является областью наибольшей нелинейности, по причине наибольшей отдаленности от тропической части.

Связи между параметрами вихрей обозначились следующим образом: амплитуда вихрей обоих знаков связана с их скоростью вращения (r = 0,92).

Следует упомянуть, что для неслаженных рядов характерно наличие 3-х месячного цикла (≈ 2,9 месяца), что может быть связано непрерывным рождением и диссипацией вихрей. Это подтверждается тем фактом, что средняя продолжительность жизни 59 % вихрей составляет 13-14 недель.

Была предпринята попытка определения причин влияющих на изменчивость параметров вихрей, и, в первую очередь, внимание было обращено на изменчивость поля атмосферного давления. В работе С.С Лаппо (1979) говорилось: во-первых, подвижная барическая область может формировать аномальные вариации уровня и порождать геострофические течения, во-вторых, под областью низкого атмосферного давления в воде формируется циклонический вихрь, а под областью высокого – антициклонический (Лаппо, 1979).

Как показала дальнейшая корреляция, только вихри первого класса подвержены зависимости от общего хода поля атмосферного давления.

Кросскорреляция между изучаемыми рядами показала увеличение корреляции при отрицательном сдвиге величиной 8-10 месяцев до +0,7 для всех параметров вихрей. Вихри стационирующиеся на акватории первого класса АДТ подвержены влиянию общего хода поля давления. В первом приближении можно сказать, что повышение давления в субтропике и его падение в субантарктике через 8-10 месяца приводит к увеличению интенсивности антициклонических вихрей. Одновременно наблюдается

увеличение интенсивности циклонических вихрей. Такая синхронность в изменчивости циклонов и антициклонов объясняется Л.А. Жуковым (1976) в теории турбулентного механизма обмена частицами воды через некоторую горизонтальную площадку. Суть объяснения сводится к следующему: суммы масс частиц, пришедших через площадку сверху вниз и снизу вверх должны быть равны. Это означает, что при усилении антициклонического режима акватории будет происходить естественное усиление циклонического режима (поскольку потоки должны быть скомпенсированы) и как следствие усиление водообмена между поверхностными и глубинными слоями.

Можно предположить, что графики, отображающие межгодовую изменчивость количества и параметров вихрей (Рисунок 3.15), являются иллюстрацией общей интенсивности образования вихрей на том или ином промежутке времени. В свою очередь график первой ГК поля давления (Рисунок 3.15) так же может содержать информацию о циклонических и антициклонических атмосферных вихрях, которые перемещаются в области Субантарктической депрессии (к югу от 50° ю.ш.) и Субтропике (к северу от 30° ю.ш.) соответственно. В случае того, что оба утверждения истинны, обнаруженная корреляция является ничем иным как статистическим подтверждением зависимости образования типа океанического вихря от типа барической ситуации над акваторией. Той самой зависимостью, которая была обнаружена С.С. Лаппо (1979), а именно: под областью высокого атмосферного давления образуется антициклон, под областью низкого – циклон. Для полного подтверждения обнаруженной зависимости необходимы данные о распределении атмосферного давления, которые имеют значительно маленький шаг сетки по сравнению с имеющимся на данный момент (2,5°). В идеале, он должен быть равен шагу сетки поля аномалии АДТ на основе которого формируется массив Челтона, т.е. 0,25°. Дополнительный фактор в виде наличия корреляции первой ГК поля давления с первой ГК ТПО, говорит о том, что причины такого взаимодействия лежат в крупномасштабном тепловом взаимодействии между океаном и атмосферой. Согласно С.С. Лаппо (1990) под термином «**взаимодействие между океаном и атмосферой**» понимается: «*совокупность разномасштабных механизмов перераспределения солнечной энергии в процессе обмена свойствами между океаном и атмосферой в ходе трансформации энергии, как в океане, так и в атмосфере, в результате которых формируется природа Земли*» (Лаппо, 1990, стр. 7).

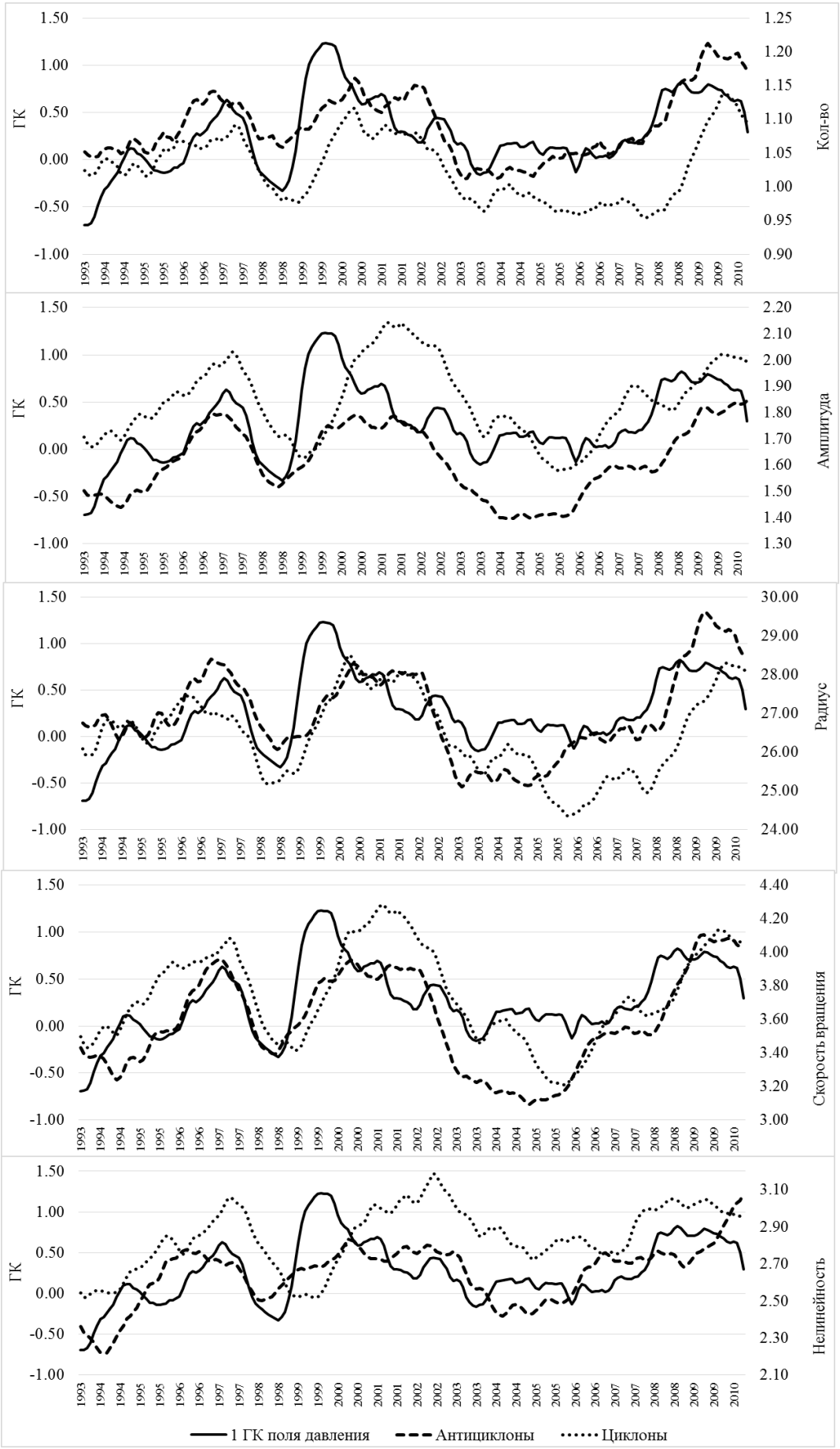


Рисунок 3.15 – Сравнительные графики первой ГК поля давления (рассчитано на основе National Centers…) и основных параметров вихрей (рассчитано на основе Mesoscale eddies…)

Простыми словами, процессы в океане и атмосфере являются следствием перераспределения и трансформации солнечной радиации.

При изучении межгодовой изменчивости состояния системы океан-атмосфера, согласно Ю.П. Доронину (1981) ее следует воспринимать как автоколебательную, т.е. следует сосредоточиться на поиске каких-либо схожих, для обеих систем, циклов, имеющих период более 12 месяцев.

Спектральному анализу подвергались выборки рядов с 1993 г., поскольку именно с этого года начинаются ряды качественных и количественных характеристик вихрей, изучение которых происходит в этом разделе. Как было сказано, в параметрах и количестве вихрей преобладает 4-х летняя периодичность и только в скорости вращения – 9-ти летняя. Поиск циклов в рядах первых ГК ТПО и давления показал наличие 4-х летних периодичностей (48 и 51 месяц, соответственно). Описание 4-5-ти летнего цикла в системе океан-атмосфера, показано в работах (Корт, 1976; Доронин, 1981).

Географическое положение класса 1, можно объяснить следующим образом: пространство класса попадает в область максимальных градиентов атмосферного давления, т.е. в область наибольших скоростей приводного ветра. Как известно, при скорости ветра V на каждый квадратный сантиметр поверхности действует тангенциальная сила трения прямо пропорциональная квадрату этой скорости (Шулейкин, 1968). Следовательно, увеличение скорости ветра влияет на дрейфовые течения, и неизбежно на вихри этих течений. В таком случае остается открытым вопрос отсутствия связи между 1 ГК давления и классом 2 (Рисунок 3.13) поскольку по своей площади он наиболее подвержен влиянию западного переноса по сравнению с классом 1.

Данную гипотезу можно применять только в целом для класса. Проверка для каждой точки, попадающей в класс закончилась неудачей, поскольку имеет место наличие нулевых значений в рядах параметров, что вызвано передвижением вихрей и, как следствие, непостоянства нахождения вихрей в каждом узле регулярной сетки.

Выводы по третьей главе

В результате изучения структуры и динамики вод ЮТО были сделаны следующие выводы:

1) С использованием кластерного анализа в ЮТО выделены субтропическая поверхностная водная масса (термохалинный индекс 14,05°С, 34,72 psu), промежуточная водная масса, которая разделена на две – промежуточную водную массу антарктического происхождения (6,24°С, 34,25 psu) и субантарктическую промежуточную водную массу (9,32°С, 34,42 psu); и глубинная водная масса ЮТО (2,75°С, 34,32 psu).

2) Для каждой водной массы установлены вертикальные границы. В САПВ нижняя граница в центральной и западной частях ЮТО залегает на глубине 300 м, в восточной – на глубине 200 м, а ее верхней границей является поверхность океана. В САПрВ нижняя граница доходит до глубины 400 м в восточной части ЮТО и опускается до 600 м в центральной и западной частях. В АПрВ: нижняя граница опускается от 850 м в восточной части ЮТО до 1300 м в западной части района; верхняя граница по глубине совпадает с нижней границей САПрВ. В ГлВМ нижняя граница не определена, а верхняя граница совпадает с нижней границей АПрВ.

3) Установлено что в восточной части ЮТО имеет место синхронное изменение границ всех водных масс, и, следовательно, их объемы изменяются пропорционально друг другу; на разрезах 130,5 и 170,5° з.д. такой синхронности не наблюдается – при увеличении глубины границы между СТПВ и САПрВ может происходить углубление границы между АПрВ и ГлВМ. Межгодовой размах колебаний границ водных масс за исключением границы между СТПВ и САПрВ прямо пропорционален глубине: с увеличением глубины происходит увеличение амплитуды, с которой граница ВМ перемещается от года к году.

4) Установлено что характерной чертой в спектральном анализе рядов большинства параметров вихрей, в том числе их количества, является наличие 3-х месячного цикла (≈ 2,9 месяца), который может быть связан с непрерывным рождением и диссипацией вихрей. Это подтверждается тем фактом, что средняя продолжительность жизни 59 % вихрей составляет 13-14 недель.

5) Установлено что вихри, чьи амплитуда и скорость вращения превышают средние показатели формируют повышенные значение в распределении СКО АДТ:

а) циклонические вихри с амплитудой более 18 см и скоростью вращения более 40 см/с перемещаются строго в зоне АЦТ;

б) антициклонические вихри с амплитудой более 18 см и скоростью вращения более 20 см/с перемещаются в северо-западной части ЮТО.

6) Установлено что в области повышенного значения СКО АДТ, стационируются вихри сильной нелинейности (> 30).

7) Показано что расположение вихрей по акватории района имеет зональный характер, а именно: в субтропической части – циклоны, в умеренной – антициклоны, в субантарктической – циклоны.

8) В результате применения кластерного анализа показано, что вихри стационирующиеся на акватории первого класса поля АДТ подвержены влиянию общего хода поля давления, а именно: повышение давления в субтропическом поясе и его падение в субантарктическом поясе через 8 месяцев приводит к увеличению интенсивности антициклонических вихрей. Это означает, что при усилении антициклонического режима акватории будет происходить естественное усиление циклонического режима (поскольку потоки должны быть скомпенсированы) и как следствие усиление водообмена между поверхностными и глубинными слоями.

ГЛАВА 4. МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ВОДНОЙ МАССЫ АНТАРКТИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ЮЖНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА

4.1 Межгодовая изменчивость температуры и солености в ядре промежуточной водной массы Антарктического происхождения в южной части Тихого океана

В работах (Бородин, 2014в; Бородин и др., 2014) выполнялось изучение межгодовой изменчивости промежуточного слоя вод, однако в этих работах изучалась только изменчивость параметров температуры и солености в разных частях ЮТО на разных горизонтах. В этом подразделе рассматривается межгодовая изменчивость температуры и солености непосредственно в ядре АПрВ местоположение которого было получено и показано в подразделе 3.1.1 (см. Рисунок 3.4).

На Рисунке 4.1 показаны графики межгодовой изменчивости температуры и солености в ядре АПрВ в восточной (88,5° з.д.), центральной (130,5° з.д.) и западной (170,5° з.д.) частях ЮТО. Он получен путем годового осреднения значений температуры и солености, в точке которая принималась за местоположение ядра АПрВ на разрезах ЮТО.

Как видно из Рисунка 4.1, характер межгодовой изменчивости температуры и солености на разных разрезах существенно различен. В восточной части ЮТО на 88,5° з.д. (положение ядра: 39° ю.ш., 500 м.) параметры температуры и солености имеют разное направление временного тренда (положительный тренд для температуры и отрицательный тренд для солености). В центральной, на 130,5° з.д. (положение ядра: 51° ю.ш., 600 м) и западной, на 170,5° з.д. (положение ядра: 51° ю.ш., 500 м) частях ЮТО знаки трендов температуры и солености совпадают (в центральной – тренды температуры и солености убывают, в западной – возрастают). Разнонаправленный характер трендов в восточной части ЮТО, скорее всего, объясняется постоянным затоком пресных вод с юга. Положительное значение тренда на графике температуры (Рисунок 4.1) говорит о наличии теплообмена с вышележащими слоями.

Постепенное уменьшение солености говорит о постоянном проникновении антарктической воды в восточной части ЮТО (Бородин, 2014б), что статистически

подтверждает вывод, сделанный в (Iudicone, 2007) о том, что восточная часть ЮТО является окном проникновения антарктической воды. Более наглядное представление об этом даст рассмотрение межгодовой изменчивости температуры и солености на верхней и нижней границах АПрВ.

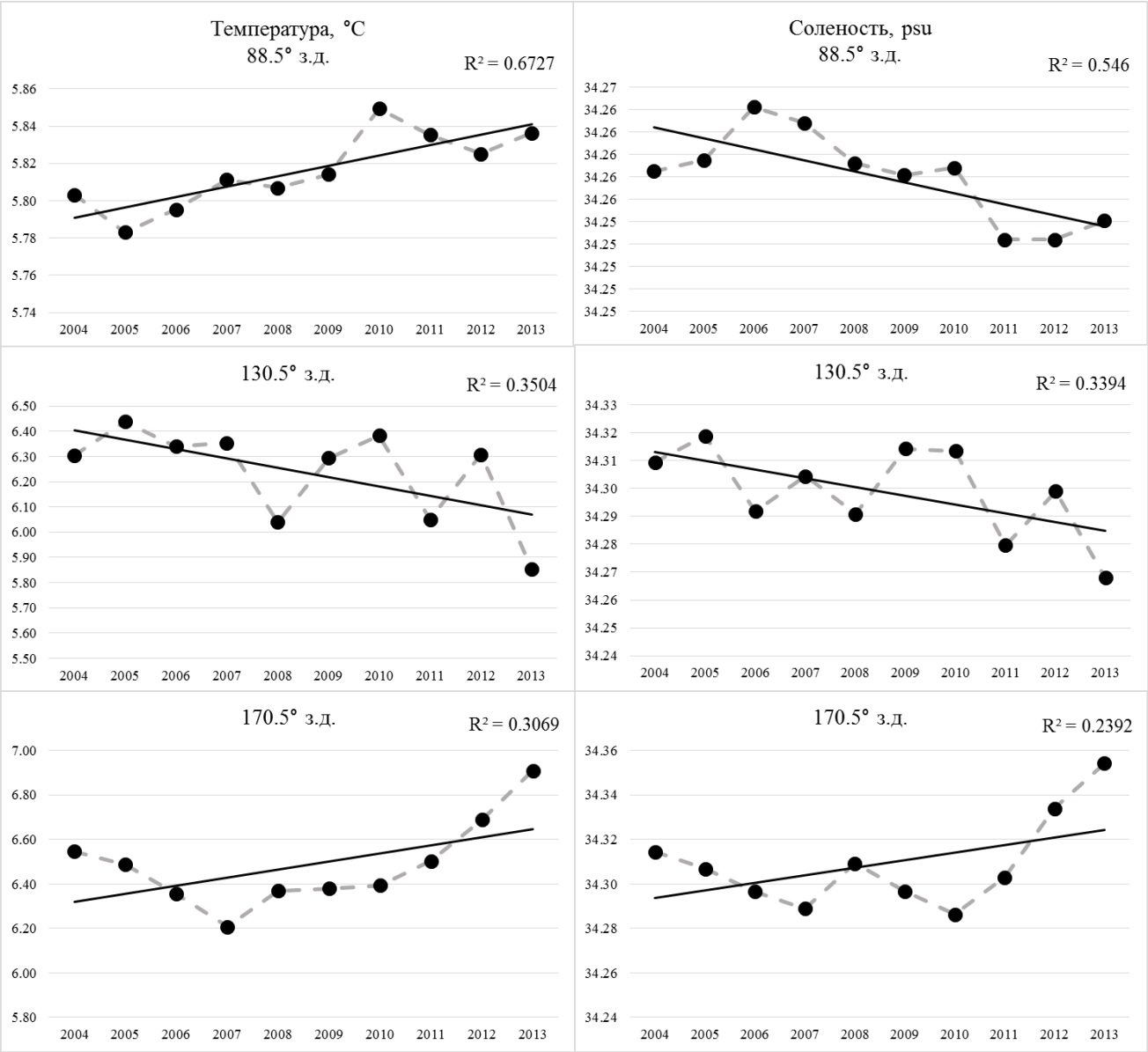


Рисунок 4.1 − Графики межгодовой изменчивости температуры и солености в ядре АПрВ в восточной (88,5° з.д.), центральной (130,5° з.д.) и западной (170,5° з.д.) частях ЮТО (Бородин, 2014б); местоположение ядра см. на Рисунке 3.4

Прежде всего, следует указать на разницу величин стандартного отклонения (СТО) *T*,*S*-параметров (Таблица 4.1) между различными разрезами. Величина СТО для температуры в восточной части ЮТО составляет 0,02°C, в то время как в центральной и западной частях величина СТО достигает значений 0,19 и 0,20°C соответственно.

Величина СТО для солености в восточной части ЮТО составляет 0,004 psu, в то время как в центральной и западной частях величина СТО достигает значений 0,016 и 0,02 psu соответственно. Это говорит о том, что в центральной и западной частях параметры температуры подвержены в 10 раз большей, а солености в 5 раз большей изменчивости по сравнению с восточным разрезом (Бородин, 2014б).

Таблица 4.1 – Статистические характеристики в ядре, на нижней и верхней границе АПрВ на трех меридиональных разрезах ЮТО

	Температура, °C		Соленость, psu	
Разрез	Среднее	Стандартное отклонение	Среднее	Стандартное отклонение
Верхняя граница АПрВ				
88,5 з.д.	6,212	0,320	34,220	0,017
130,5 з.д.	6,177	0,340	34,312	0,015
170,5 з.д.	6,138	0,342	34,372	0,010
Ядро АПрВ				
88,5 з.д.	5,816	0,020	34,258	0,004
130,5 з.д.	6,237	0,189	34,299	0,016
170,5 з.д.	6,484	0,198	34,309	0,021
Нижняя граница АПрВ				
88,5 з.д.	4,045	0,513	34,314	0,047
130,5 з.д.	4,070	0,525	34,338	0,025
170,5 з.д.	4,091	0,502	34,403	0,026

В центральной части ЮТО на протяжении периода 2004 – 2013 гг. наблюдается нисходящий тренд в параметрах температуры и солености (Рисунок 4.1). Однако изменчивость в центральной части ЮТО непостоянна и подвержена значительным флуктуациям в отличии, например, от западного разреза на котором наблюдается плавное изменение параметров температуры и солености. На протяжении 2004 – 2007 гг. в западной части ЮТО наблюдалось уменьшение температуры и солености, а после 2007 и до 2013 наблюдается их четкое повышение (Бородин, 2014б). С чем связано такое разнонаправленное движение, пока что не ясно.

4.2 Межгодовая изменчивость на границах промежуточной водной массы Антарктического происхождения в южной части Тихого океана

4.2.1 Межгодовая изменчивость глубины верхней и нижней границ промежуточной водной массы Антарктического происхождения

Данный раздел посвящен рассмотрению межгодовой изменчивости температуры и солености на верхней и нижней границах АПрВ (Рисунок 4.2) на трех меридиональных разрезах ЮТО (см. Рисунок 3.1). Кратко будет рассмотрена изменчивость глубины залегания верхней и нижней границ АПрВ. На Рисунке 3.4 ясно видно, что при продвижении на север, у границ АПрВ (особенно явно у нижней границы) наблюдается выклинивание ко дну на восточном, центральном разрезах до 50° ю.ш., на западном – до 48° ю.ш. Здесь и далее, изменчивость будет рассматриваться для частей разрезов, на которых выклинивание не наблюдается. Это делается для того что бы изменчивость на разных точках разреза была максимально близкой.

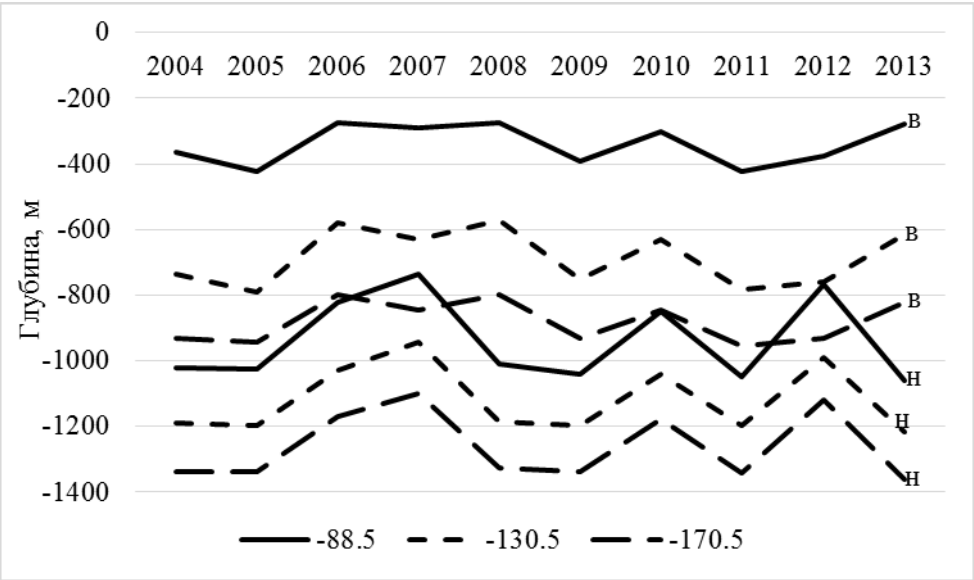


Рисунок 4.2 – Межгодовая изменчивость верхней (в) и нижней (н) границ АПрВ на трех меридиональных разрезах

Как оказалось, изменчивость верхней и нижней границ АПрВ на одних и тех же разрезах не связана между собой, об этом говорят незначительные величины непараметрических коэффициентов корреляции Спирмена (ρ) (Таблица 4.2). Однако

значительные величины ρ между различными разрезами для верхних и нижних границ (Таблица 4.2) говорят о синхронной изменчивости этих границ на всей акватории ЮТО. Значит и изменчивость толщины слоя АПрВ на данных разрезах должна происходить синхронно, а это говорит о синхронном изменении объема АПрВ на акватории ЮТО.

Глубина залегания верхней и нижней границы АПрВ увеличивается с востока на запад от 300 до 900 м для верхней границы и от 900 до 1 300 м для нижней границы.

Согласно графикам (Рисунок 4.2), на изучаемом временном промежутке, наиболее близкое к поверхности положение верхней границы АПрВ наблюдалось в 2006 и 2008 гг., наиболее глубокое она занимала в 2005, 2009, 2011 гг. В свою очередь, нижняя граница АПрВ занимала наименьшую глубину в 2007, 2010, 2012 гг., а наибольшую в 2004-05, 2008-09, 2011 гг.

Таблица 4.2 – Матрица коэффициентов корреляции ρ между рядами межгодовой изменчивости верхней (в) и нижней (н) границ на разных разрезах

	-88,5 н	-88,5 в	-130,5 н	-130,5 в	-170,5 н	-170,5 в
-88,5 н	1	0,35	**0,98**	0,36	**0,94**	0,32
-88,5 в		1	0,26	**0,99**	0,26	**0,96**
-130,5 н			1	0,28	**0,95**	0,26
-130,5 в				1	0,25	**0,95**
-170,5 н					1	0,31
-170,5 в						1

4.2.2 Межгодовая изменчивость температуры и солености на верхней границе промежуточной водной массы Антарктического происхождения

Методика определения термохалинных параметров на верхней и нижней границах АПрВ заключается в следующем. На каждом из меридиональных разрезов, были определены широты, севернее которых у нижней границы АПрВ не наблюдается выклинивания ко дну (на восточном и центральном это 50° ю.ш., на западном – 48° ю.ш.). Затем для каждого года для областей где выклинивание не наблюдается усреднялись температура и соленость отдельно на верхней и нижней границах АПрВ.

Основные статистические характеристики температуры и солености на верхней границе АПрВ ЮТО показаны в Таблице 4.1. Первый вывод который можно сделать при

рассмотрении графика температуры (Рисунок 4.3), это то, что значения температуры на различных разрезах изменяются в одних и тех же пределах, и они абсолютно синхронны. СТО всех рядов температуры имеет значение 0,33±0,01°С. В данном случае межгодовая изменчивость температуры на верхней границе определяется глубиной залегания верхней границы АПрВ, на всех меридиональных разрезах. Это подтверждается тем, что глубина верхней границы АПрВ изменяется так же синхронно, а также тем что значение ρ между рядами глубины верхней границы и рядами температуры, изменяется в пределах 0,92-0,98. Итак межгодовая изменчивость температуры верхней границы АПрВ прямо пропорциональна ее глубине залегания.

Изменчивость солености (Рисунок 4.3) имеет значительные отличия по сравнению с температурой. Значение солености верхней границы АПрВ изменяется в различных пределах и увеличивается при продвижении с востока на запад. СТО солености при этом уменьшается: на востоке, в центре и западе оно имеет значения 0,017, 0,015, 0,010 psu соответственно.

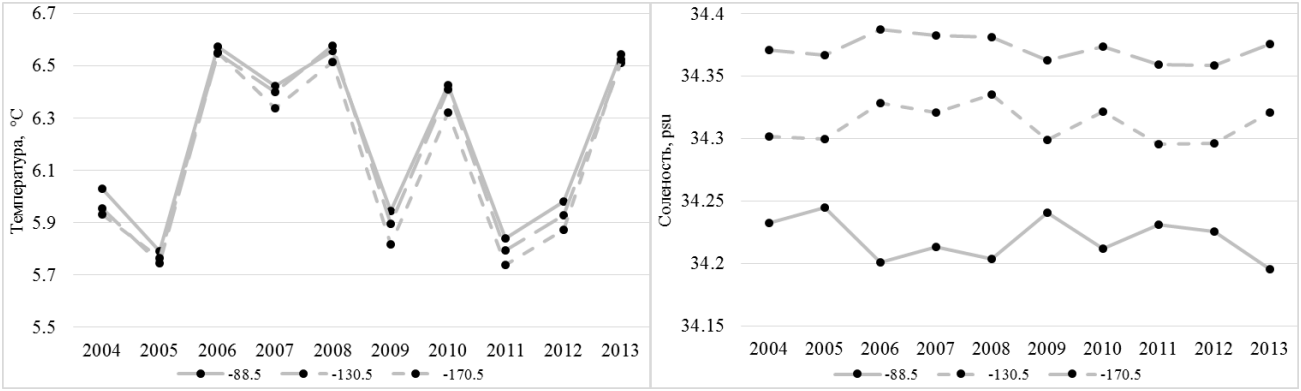


Рисунок 4.3 – Межгодовая изменчивость температуры и солености на верхней границе АПрВ

Сравнивания ряды изменчивости солености между собой видно, что синхронно изменяется только соленость на верхней границе АПрВ центрального и западного разрезов (ρ = 0,9). Величина ρ между восточным/центральным и восточным/западным разрезами равна -0,67. Значит изменчивость солености верхней границы АПрВ восточного разреза обратно пропорциональна изменчивости солености на других разрезах. Если учитывать, что на верхней границе АПрВ в центральном и западном разрезах изменчивость температуры и солености происходит синхронно, то изменчивость солености восточного разреза, обратно пропорциональна всякой другой изменчивости западного и центрального разрезов. Следует упомянуть так же то, что при изучении

изменчивости термохалинных параметров ядра АПрВ на восточном разрезе наблюдается аналогичная ситуация – имеют место разнонаправленные тренды (Рисунок 4.1). В то время, когда в центральном и западном разрезах тренды однонаправленные.

Ранее уже высказывалось предположение что причиной разнонаправленности трендов температуры и солености восточного разреза (Рисунок 4.1) может являться поворачивающий на север южно-Тихоокеанский субтропический круговорот, вносящий холодные субантарктические воды в воды субтропические. Поскольку верхняя граница АПрВ в восточной части ЮТО находится ближе всего к поверхности (Рисунок 4.2), то она в большей степени подвержена влиянию внешних воздействий в том числе и течению Гумбольдта которое включено в восточную часть южно-тихоокеанского круговорота и которое выносит антарктические пресные воды в субтропические широты что говорит о более активном обновлении АПрВ в восточной части ЮТО по сравнению с центральной и западной что подтверждает выводы работы (Тараканов, 2006) где говорится что в восточной части ЮТО располагается более свежая антарктическая вода по сравнению с западной. Это подтверждается разнонаправленной изменчивостью на графике солености на верхней границе АПрВ (Рисунок 4.3). Поскольку явление противоположного изменения значений солености зафиксировано именно на верхней границе АПрВ, то соленость является индикатором интенсивности проникновения антарктических поверхностных вод в данной части района ЮТО.

4.2.3 Межгодовая изменчивость температуры и солености на нижней границе промежуточной водной массы Антарктического происхождения

Основные статистические характеристики температуры и солености на нижней границе АПрВ ЮТО показаны в Таблице 4.1. Также, как и на верхней границе АПрВ, изменчивость температуры на ее нижней границе происходит синхронно и изменяются в одних и тех же пределах (Рисунок 4.4). Величина СТО температуры верхней границы АПрВ составляет 0,51±0,01°С, что превышает значение СТО верхней границы на 0,18°С. Явление превышения СТО температуры на нижней границе АПрВ по сравнению с верхней границей, объясняется тем, что нижняя граница АПрВ изменяется в больших пределах по сравнению с ее верхней границей. Поскольку температура с увеличение

глубины зависит в большей степени от изменения самой глубины по сравнению с поверхностными горизонтами, то и изменчивость ее будет в большей степени зависеть от изменения глубины. Значит, аналогично с зависимостью температуры на верхней границе АПрВ, температура нижней границы так же прямо пропорциональна изменению ее глубины. Аналогично с глубиной, между изменением температуры на верхней и нижней границах АПрВ никакой статистической связи не обнаружено.

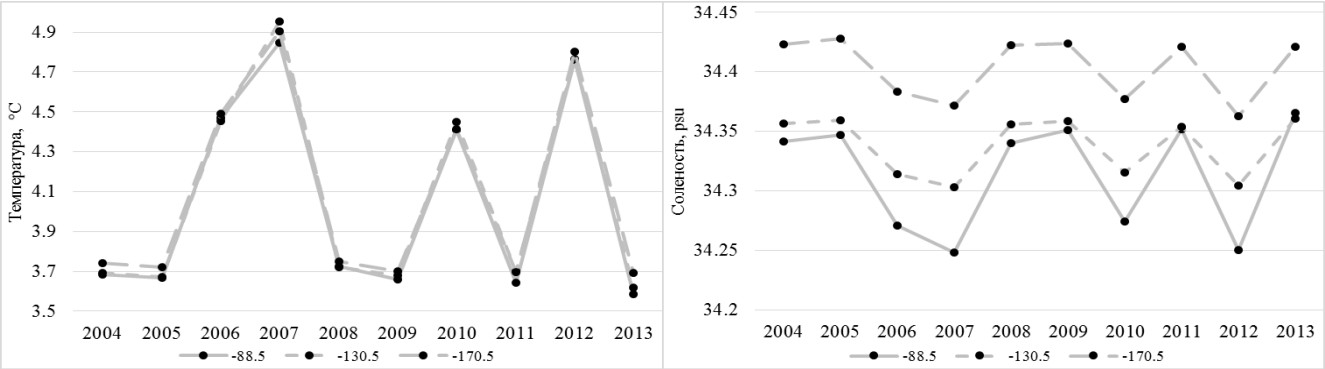


Рисунок 4.4 – Межгодовая изменчивость температуры и солености на нижней границе АПрВ

Самой большой изменчивости подвержена соленость нижней границы АПрВ восточного разреза, ее СТО имеет значение 0,05 psu, когда на центральном и западном разрезах величина СТО составляет 0,03 psu. Эти значения превышают значения СТО солености верхней границы АПрВ.

В отличие от солености верхней границы АПрВ, на ее нижней границе, соленость изменяется синхронно на всех разрезах и ее изменение обратно пропорционально изменению температуры, о чем говорят значительные отрицательные величины ρ между рядами температуры и солености, для восточного, центрального и западного разрезов они имеют значения -1, -0,99 и -0,66 соответственно.

В результате рассмотрения изменчивости термохалинных параметров на верхней и нижней границах можно заключить что изменчивость температуры на верхней и нижней границах прямо пропорциональна изменчивости глубины залегания этих границ. Изменчивости солености на нижней границе АПрВ обратно пропорциональна глубине, поскольку при заглублении соленость соответственно возрастает. Такое же явление наблюдается на верхней границе АПрВ в восточной части ЮТО, однако это объясняется выносом пресных антарктических вод в воды субтропические.

4.3 Межгодовая изменчивость толщи промежуточной водной массы Антарктического происхождения в южной части Тихого океана

В подразделе 3.1.2 рассматривалась межгодовая изменчивость вертикальной структуры водных масс ЮТО (Рисунок 3.4). В данном разделе рассмотрению подлежит межгодовая изменчивость суммарной толщины (далее толщина) АПрВ на трех разрезах ЮТО. В данной работе толщиной АПрВ на разрезе является сумма разностей глубин залегания нижней и верхней границ АПрВ посчитанных для каждой широты данного меридионального разреза. Поскольку глубина залегания границ водной массы измеряется в метрах, то и значения толщины представляются в метрах. Рассмотрение толщины проводится по причине отсутствия достаточного количества данных для рассмотрения объемов, однако, судя о изменчивости толщины можно судить о изменчивости объемов.

Самой важный вывод, который можно сделать при рассмотрении графиков на Рисунке 4.5, это то что изменение толщины в разных частях района происходит синхронно. Что подтверждает предположения, сделанные в (Бородин, 2014б).

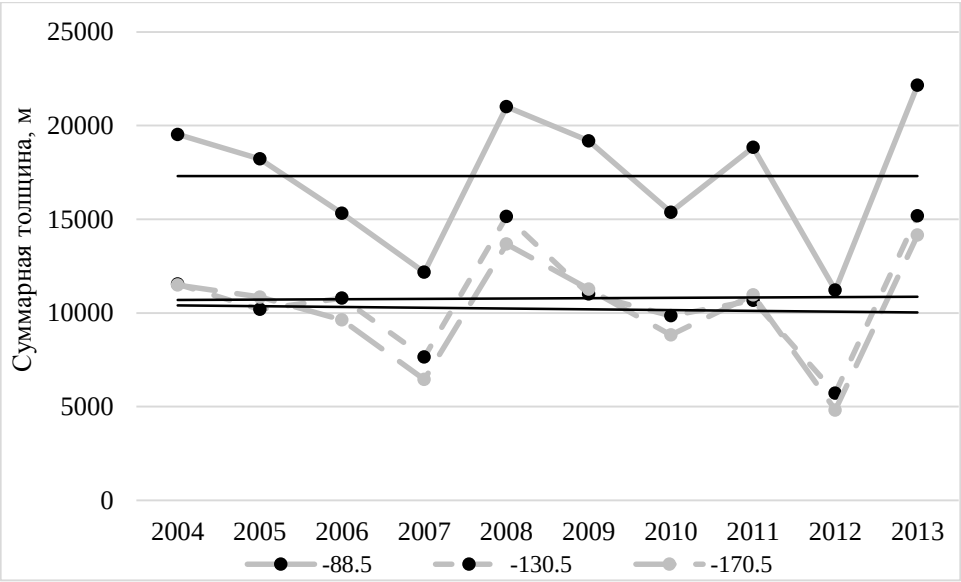


Рисунок 4.5 – Межгодовая изменчивость толщин АПрВ на трех меридиональных разрезах ЮТО; тонкие черные линии – линии тренда

Синхронной изменение толщин подтверждается расчетом ρ. Матрица значений ρ показала высокие значения (Таблица 4.3).

Другой особенностью является отсутствие тренда (максимальный среди всех рядов R^2 = 0,0018) на графиках (Рисунок 4.5). 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 так же видно, что максимальную толщину АПрВ занимает в восточной части ЮТО. В западной и центральной частях АПрВ занимает примерно одинаковую толщину несмотря на то что структура АПрВ в центральной и западной частях различна (Рисунок 3.4). Оценка СТО для межгодовой изменчивости толщин показала, что наибольшей изменчивости подвержена толщина восточной части ЮТО (СТО 3649,1). В центральной и западной частях СТО толщина имеет примерно равные величины и было оценено как 2899,1 и 2921,4 соответственно.

Таблица 4.3 – Матрица коэффициентов корреляции ρ между рядами межгодовой изменчивости толщин на разных разрезах

	-88,5	-130,5	-170,5
-88,5	1	**0,93**	**0,99**
-130,5		1	**0,96**
-170,5			1

Если изменчивость термохалинных параметров верхней и нижней границ АПрВ объясняется изменчивостью глубины залегания этих границ, что логично, поскольку в толще океана нет ни стоков тепла, либо солей, то на первый план выходит вопрос изменения глубины залегания верхней и нижней границ. На Рисунке 4.2, показано что и верхняя и нижняя граница изменяются синхронно на всей протяженности ЮТО, но они не синхронны друг относительно друга. Значит причины изменения глубин их залегания различны. Особо стоит упомянуть верхнюю границу залегания АПрВ по следующей причине. Среди трех меридиональных разрезов, она залегает ближе всего к поверхности (особенно в восточной части), а значит должна быть подвержена каким либо внешним изменениям (усиление/ослабление южного субтропического круговорота), однако, судя по графикам на Рисунке 4.2, такого не наблюдается и глубина верхней границы АПрВ изменяется синхронно с западной и центральной частью. Это подкрепляет тот факт что в результате кластерного анализа разреза была выделена водная масса обладающая

однородными свойствами что соответствует общепринятому определению (Добровольский, 1961).

Говоря о процессах которые могут приводить к увеличению/уменьшению глубины залегания ее границ, в первую очередь стоит упомянуть о долгопериодных лунно-солнечных приливах, изучение которых проводилось во многих работах, однако стоит выделить работу (Сидоренков, 2002), за ее понятность.

Поскольку водную массу можно представить как твердое тело вращающееся с угловой скоростью, она будет в определенной степени зависеть от гравитационного поля Земли, на которое в свою очередь влияют долгопериодные лунно-солнечные приливы. Это допустимо, поскольку молекулы любой оболочки Земли находятся под влиянием земного тяготения и окружающих небесных тел. Исследованию данного вопроса, посвящено множество работ, и не лишним будет сказать, что до 2002, в работах разных лет (Бызова, 1947; Парийский, Берлянд, 1953; Жаров 1997, Сидоренков, 2002) преобладало мнение о том, что вращение атмосферы приводит к вращению Земли. Основным параметром с помощью которого можно оценивать влияние на Землю долгопериодных лунно-солнечных приливов является скорость вращения Земли, определяемая через длительность Земных суток, которая в свою очередь измеряется с помощью атомного хронометра. При уменьшении длительности Земных суток, происходит увеличение скорости вращения Земли. Увеличение скорости вращения Земли как упругого тела, вследствие влияния лунно-солнечных приливов, приводит к ее сжатию, замедление же, приводит к ее расширению (Сидоренков, 2002). Поскольку из-за конструкции планеты, радиус на 35°ю.ш./с.ш. постоянен (Сидоренков, 2002), независимо от деформации Земли, при сжатии, либо расширении оболочки Земли стремятся, либо в сторону экватора, либо в сторону полюса, для того что бы компенсировать уход, либо приход массы к/от 35°ю.ш./с.ш. Следовательно такое же явление будет наблюдаться и у изучаемой в данной работе АПрВ – при увеличении скорости вращения Земли должно наблюдаться «поднятие» границ АПрВ, при уменьшении – должно наблюдаться «опускание» границ. Однако, как было показано в разделе 4.3, увеличение и уменьшение глубины залегания границ АПрВ происходит несинхронно, значит нельзя утверждать, что скорость вращения земли будет функционально влиять на глубину залегания верхней/нижней границ. Для изучения этого промежуточного процесса требуется дополнительное исследование.

Следует сказать, что для уточнения полученных результатов необходимо придерживаться изначально выбранной методики объемного кластерного анализа. Для этого требуется собственная реализация методики кластерного анализа без использования стороннего ПО. Результаты можно уточнить, перейдя от среднегодовых значений, к среднемесячным. Это позволит показать отсутствие или наличие внутригодовых изменений внутри водной массы.

Выводы по четвертой главе

В результате изучения межгодовой изменчивости АПрВ в ЮТО можно сделать следующие выводы:

1) В результате расчетов СТО для температуры и солености в ядре АПрВ установлено, что в восточной части ЮТО размах в колебаниях в 10 раз меньше для температуры и в 7 раз меньше для солености по сравнению с центральной и западной частями океана. В восточной части ЮТО параметры температуры и солености имеют разное направление временного тренда (положительный тренд для температуры, и отрицательный тренд для солености). В центральной и западной частях направления временных трендов температуры и солености совпадают (в центральной – тренды температуры и солености убывают, в западной – возрастают). Разнонаправленный характер трендов в восточной части ЮТО скорее всего объясняется постоянным затоком пресных вод с юга.

2) В результате рассмотрения межгодовой изменчивости термохалинных параметров на верхней и нижней границах АПрВ, показано что изменчивость температуры на верхней и нижней границах прямо пропорциональна изменчивости глубины залегания этих границ. В свою очередь изменение солености на всей нижней границе АПрВ обратно пропорционально изменению температуры, а значит и изменению глубины. Такое же явление наблюдается на верхней границе АПрВ в восточной части ЮТО, в то время, когда в центральной и западной частях изменчивость солености прямо пропорциональна изменению глубины.

3) Установлено что изменчивость верхней и нижней границ АПрВ на одних и тех же разреза не имеет статистической связи. Однако между различными разрезами для

верхних и нижних границ имеется значительная статистическая связь, об этом говорят значительные величины коэффициентов ρ.

4) При рассмотрении межгодовой изменчивости объемов АПрВ на меридиональных разрезах, показано что изменение объемов в разных частях района происходит синхронно. Это подтверждает предположения, сделанные в (Бородин, 2014б). Поскольку разрезы равномерно покрывают акваторию ЮТО и между рядами имеет место синхронная изменчивость, то отсутствие тренда означает постоянство объема АПрВ на всей акватории ЮТО. Также показано что максимальный объем АПрВ занимает в восточной части ЮТО. В западной и центральной АПрВ занимает примерно одинаковый объем. Оценка СТО для разных разрезов показала, что максимальная изменчивость наблюдается в восточной части ЮТО. В центральной и восточной части изменчивость примерно одинакова.

5) Выдвинуто предположение: при увеличении скорости вращения Земли должно наблюдаться «поднятие» границ АПрВ, при уменьшении – должно наблюдаться «опускание» границ. Однако, как было показано в разделе 4.3, увеличение и уменьшение глубины залегания границ АПрВ происходит несинхронно, значит нельзя утверждать, что скорость вращения земли будет функционально влиять на глубину залегания верхней/нижней границ. Для изучения этого промежуточного процесса требуется дополнительное исследование.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы можно сделать следующие выводы:

I. В результате изучения пространственного положения водных масс в толще ЮТО получены следующие результаты:

1) С использованием кластерного анализа в ЮТО выделены субтропическая поверхностная водная масса (термохалинный индекс 14,05°С, 34,72 psu), промежуточная водная масса, которая разделена на две – промежуточную водную массу антарктического происхождения (6,24°С, 34,25 psu) и субантарктическую промежуточную водную массу (9,32°С, 34,42 psu); и глубинная водная масса ЮТО (2,75°С, 34,32 psu).

2) Идентифицированы вертикальные границы каждой водной массы в изучаемой толще ЮТО:

а) нижняя граница субтропической поверхностной водной массы в центральной и западной частях ЮТО залегает на глубине 300 м, в восточной – на глубине 200 м, а ее верхней границей является поверхность океана;

б) 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;

в) 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 массы;

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

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

II. При исследовании пространственно-временной изменчивости термохалинных характеристик АПрВ в ЮТО получены следующие результаты:

1) В восточной части ЮТО наблюдается постоянный заток пресных вод с юга о чем говорят разница величин стандартного отклонения и различные направления временных трендов:

а) межгодовое изменение температуры и солености в ядре АПрВ в восточной части ЮТО характеризуемые величинами СТО в 10 раз меньше для температуры и в 7 раз меньше для солености по сравнению с центральной и западной частями океана. В

восточной части ЮТО термохалинные параметры имеют разное направление временного тренда (положительный тренд для температуры, и отрицательный тренд для солености);

б) в центральной и западной частях направления временных трендов термохалинных параметров совпадают (в центральной – тренды убывают, в западной – возрастают). Разница величин стандартного отклонения и различные направления временных трендов свидетельствует о постоянном затоке сравнительно пресных вод с юга.

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

3) Соленость верхней границы АПрВ является индикатором обновления антарктической воды в восточной части ЮТО:

а) изменение солености на верхней границе АПрВ происходит синхронно в центральной и западной частях ЮТО, при этом в восточной части изменение солености обратно пропорционально ее изменению в центре и на западе ЮТО;

б) изменение солености на всей нижней границе АПрВ обратно пропорционально изменению температуры, а значит и изменению глубины что вполне естественно.

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

1) Поле АДТ ЮТО было разделено методом кластерного анализа на 4 класса. Статистически значимым оказался первый класс (область с юга ограниченная САФ, а с севера – северной границей АЦТ):

а) первый класс поля АДТ – единственный класс, параметры вихрей которого, имеют высокую статистическую связь: количество циклонов связано с их радиусом (r = 0,94), амплитуда связана 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, имеет место связь амплитуды и скорости вращения (r = 0,90);

б) вихри стационирующиеся на акватории первого класса АДТ подвержены влиянию общего хода поля давления, а именно: повышение давления в субтропике и его падение в субантарктике через 8 месяцев приводит к увеличению интенсивности вихрей, что упрощает водообмен между антарктическими и субтропическими водами.

2) Анализ пространственного распределения вихрей ЮТО позволил установить, что расположение вихрей на акватории района имеет зональный характер, а именно: в субтропической части – преобладают циклоны, движущиеся на запад, в умеренной – антициклоны, движущиеся на запад, в субантарктической – циклоны, движущиеся на восток.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

Сокращение	Расшифровка
АДТ	абсолютная динамическая топография
АК	антарктическое колебание
АПрВ	промежуточная водная масса антарктического происхождения
АЦТ	антарктическое циркумполярное течение
ВЗК	внутритропическая зона конвергенции
ВУМ	высота уровня моря
ГК	главная компонента
ГлВМ	глубинная водная масса
ПрВМ	промежуточная водная массы
САПрВ	субантарктическая промежуточная водная масса
САФ	субантарктичесий фронт
СКО	среднеквадратическое отклонение
СМВ	субантарктическая модовая вода
СМК	слой минимума кислорода
СТВМ	субтропическая тропосферная водная масса
СТО	стандартное отклонение
ТПО	температура поверхности океана
ЮВТО	юго-восточная часть Тихого океана
ЮЗТО	юго-западная часть Тихого океана
ЮК	южное колебание
ЮПФЗ	южная полярная фронтальная зона
ЮСпФ	южный субполярный фронт
ЮСтФ	южный субтропический фронт
ЮТА	южно-тихоокеанский антициклон
ЮТО	южная часть Тихого океана

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А., Бабий М.В., Галковская Л.К. Сезонная и межгодовая изменчивость фронтов Южного океана // Украинский Антарктический журнал. 2009. №8. С. 205-216.
2. Атлас океанов. Том I. Тихий океан / под ред. С.Г. Горшков, Л.А. Демин. Л.: Главное управление навигации и океанографии Министерства обороны СССР, 1974. 320 с.
3. Белоцерковский А.В. Спектральный анализ в гидрометеорологии. СПб. РГГМУ, 1993. 64 с.
4. Бендик А.Б., Яковлев В.Н. Структурные особенности Атмосферных и океанических процессов в юго-восточной части Тихого океана. Калининград: АтлантНИРО, 2008. 154 с.
5. Богданов М.А., Полонский В.Е., Попков В.В, Родионов С.Н., Суслов А.В. Океанологические условия формирования районов повышенной биологической продуктивности в юго-восточной части Тихого океана. М.: ВНИРО, 1982, 40 с.
6. Бородин Е.В, Чернышков П.П., Скляров М.Б., Чурин Д.А. Межгодовые изменения вертикальной структуры водных масс в южной части Тихого океана в январе – декабре 2004 - 2009 гг. (по результатам зондирований дрейфующих буев международного научного проекта Argo) // Дни науки - 2010. Вып. 6: Естественные науки: матер. науч.-практ. конф. студ. и асп. Калининград.: РГУ им. Канта, 2010. С. 65-71.
7. Бородин Е.В. Анализ пространственного распределения океанических вихрей в южной части Тихого океана // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2014а. № 4. С. 62-66.
8. Бородин Е.В. Вертикальная структура промежуточных водных масс Антарктического происхождения в южной части Тихого океана // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2014б. № 37. С. 143-154.
9. 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. 2014в. № 3. С. 90-95.

10. 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 (Естественные науки). 2014. №7. С.142-154.
11. Бурков В.А. Общая циркуляция вод Тихого океана. Тихий океан. М.: Наука, 1972. 195 с.
12. Бурков В.А. Общая циркуляция Мирового океана. Л.: Гидрометеоиздат, 1980. 252 с.
13. Бызова Н.Л. Влияние сезонного переноса масс воздуха на движение земной оси // Доклады АН СССР. 1947. Т. 58. № 3. С. 393-396.
14. Вайновский П.А., Малинин В.Н. Методы обработки и анализа океанологической информации. Многомерный анализ. СПб: РГГМИ, 1992. 96 с.
15. Глубоков А.И., Глубоковский М.К. Современное состояние запасов южнотихоокеанской ставриды Trachurus Murphyi // Вопросы рыболовства. 2010. Т. 11. № 4 (44). С. 632-644.
16. Глубоков А.И., Глубоковский М.К., Нестеров А.А., Чернышков П.П. Современное состояние запасов океанической ставриды Trachurus murphyi в южной части Тихого океана и международно-правовые проблемы ее освоения // Труды ВНИРО. 2010. Т. 169. С. 356-371
17. Голивец С.В., Кошляков М.Н. Вихреобразование на субантарктическом фронте по данным спутниковых наблюдений и формирование Антарктической промежуточной воды // Океанология. 2004. Т. 44. №4. С. 485–494.
18. Голивец С.В., Кошляков М.Н. Циклонические вихри Субантарктического фронта и образование Антарктической промежуточной воды // Океанология. 2003. Т. 43. №3. С. 325-338.
19. Гордеева С.М. Крупномасштабная изменчивость и долгосрочный прогноз температуры поверхности Юго-Восточной части Тихого океана: дис. … канд. геогр. наук. Санкт-Петербург, 2008. 171 с.
20. Гордеева С.М., Малинин В.Н. Пространственно-временная изменчивость поля давления и атмосферной циркуляции в промысловом районе юго-восточной части Тихого океана. Тез. Докл. “XIII Междунар. Конф. по промысловой океанологии”. Калининград. 2005. С. 176-177.
21. Гринспен Х. Теория вращающихся жидкостей. Л.: Гидрометиздат, 1975. 304 с.

22. Грузинов В.М. Гидрология фронтальных зон мирового океана. Л.: Гидрометиздат, 1986. 270 с.

23. Добровольский А.Д. Об определении водных масс // Океанология. 1961. т. 1. вып. 1. С. 12-24.

24. Доронин Ю.П. Взаимодействие атмосферы и океана. Л.: Гидрометиздат, 1981. 288 с.

25. Жаров В.Е. Влияние вращения атмосферы на нутацию Земли // Вестник МГУ. сер. 3. Физика. Астрономия. 1997. № 6. С. 65-67.

26. Жуков В.А. Общая океанология. Л.: Гидрометиздат, 1976. 376 с.

27. Использование биологической, гидрометеорологической и промысловой информации при поисковых работах в ЮВТО. – Калининград: ВРПО Запрыба, 1986 с. – 129 с.

28. Каган Б.А. Взаимодействие океана и атмосферы. СПб.: СПб Гидрометиздат, 1992. 332 с.

29. Каменкович В.М., Кошляков М.Н., Монин А.С. Синоптические вихри в океане. 2-е изд. Л.: Гидрометиздат, 1978. 511 с.

30. Корт В.Г. Крупномасштабное взаимодействие Северной Атлантики с атмосферой // Океанология. 1976. Т. 16. Вып. 4. С. 565-571.

31. Корт В.Г. Мезомасштабная изменчивость течений и температуры в южном океане по данным дрейфующих буев // Океанология. 1981. Т. 21. №3. 1981. С. 405-415.

32. Котенов Б.Н., Кухоренко К.Г., Глубоков А.И. История российского изучения и освоения биоресурсов ЮТО // Международное сотрудиничество России в области рыболовства / Всероссийский НИИ рыб. хоз. и океангр. М., 2005. С. 129-151.

33. Кошляков М.Н. Тараканов Р.Ю. Промежуточные воды южной части Тихого океана // Океанология. 2005. Т. 45. № 4. С. 485-503.

34. Кошляков М.Н., Тараканов Р.Ю. Антарктическая циркумполярная вода в Южной части Тихого океана // Океанология. 2003. Т. 43. №5. С. 645-659.

35. Кузнецов А.Н. Промысел ставриды в ЮВТО // Биология и промысел перуанской ставриды. М.: ВНИРО, 1987. С. 222-232.

36. Кукса В.И. Промежуточные воды Мирового океана. Л.: Гидрометиздат, 1983. 272 с.

37. Лаппо С.С. Среднемасштабные динамические процессы океана возбуждаемые атмосферой. М.: Наука, 1979. 180 с.

38. Лаппо С.С., Гулев С.К., Рождественский С.Е. Крупномасштабное тепловое взаимодействие в системе океан-атмосфера и энергоактивные области Мирового океана. Л.: Гидрометиздат, 1990. 336 с.

39. Лебедев С.А., Шауро С.Н. Уточнение границ Южного океана и Антарктического циркумполярного течения по данным дистанционного зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т.8. №4. С. 245-255.

40. Леонтьев С.Ю., Несин А.В., Павлов Ю.П. К вопросу о состоянии запаса ставриды Trachurus Murphyi в юго-восточной части Тихого океана // Вопросы рыболовства. 2010. Т. 11. № 4 (44). С. 644-653.

41. Макоедов А.Н., Дягилев С.Е. Оптимизация деятельности научно-исследовательских институтов Госкомрыболовства: объективная неизбежность // Вопросы рыболовства. 2002. Т. 3. №3(11). С. 380-401.

42. Малинин В.Н. Общая океанология. Часть I. Физические процессы. СПб.: РГГМУ, 1998. 342 с.

43. Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. СПб.: РГГМУ, 2008. 408 с.

44. Малинин В.Н., Гордеева С.М. Промысловая океанология юго-восточной части Тихого океана. Том I. Изменчивость факторов среды обитания. СПб.: РГГМУ, 2009. 278 с.

45. Мамаев О.И. Термохалинный анализ вод Мирового океана. Л.: Гидрометиздат, 1987. 297 с.

46. Метеорология южного полушария / под ред. Ч.У. Ньютона. СПб.: Гидрометеоиздат, 1976. 260 с.

47. Натаров В.В., Черный Э.И. О формировании зон повышенной биологической продуктивности в Тихом океане // Труды ВНИРО. 1966. Т. 60. С. 125-133

48. Несин А.В. Особенности питания и перспективы промысла перуанской ставриды (Trachurus Symmetricus Murphyi) в южной Пацифике: автореф. дис. … канд. биол. наук. / Всероссийский НИИ рыб. хоз. и океангр. М., 2009. 24 с.

49. Нестеров А.А. Исторические и современные изменения численности пелагических рыб юго-восточной части Тихого океана // Промыслово-океанологические исследования АтлантНИРО в 1994-1995 гг. / Атлант. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Калининград, 1996. С. 156-166.

50. Нестеров А.А. Экологические рыбохозяйственные исследования в Южной части Тихого океана / Атлант. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Калининград: АтлантНИРО, 1991. 148 с.

51. Нестеров А.А. Классификация запасов массовых нерито-океанических рыб в Юго-восточной части Тихого океана // Вестник Российского государственного университета им. И. Канта. 2007. №7. С. 59-67.

52. Нестеров А.А., Дубищук М.М., Несин А.В., Голуб А.Н., Малышко А.П. Распределение и биология пелагических рыб открытых вод юго-восточной части Тихого океана в 2002 г. и 2009 г. (по материалам 32 и 53 рейсов НИС СТМ 8390 "Атлантида") // Вопросы рыболовства. 2010. Т. 11 № 4 (44) С. 780-800

53. Нестеров А.А., Коломейко Ф.В., Чур В.Н., Назаров Н.А. Биологические параметры ставриды (Trachurus murphyi Nichols, 1920) из разных частей южной Пацифики и идентификация запаса. Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в 2010-2013 годах. Т.2. Океанические районы. Калининград: АтлантНИРО. 2014. С. 113-125.

54. Павлов Ю.П. Особенности биологии и промысла Перуанской ставриды южной Пацифики: дис. … канд. биол. наук. М., 2006. 139 с.

55. Парийский Н.Н., Берлянд О.С. Влияние сезонных изменений атмосферной циркуляции на скорость вращения Земли // Труды Геофизического института АН СССР. 1953. № 19. С. 103-122.

56. Полосин А.С. Течения и водные массы экваториальной зоны мирового океана: автореф. дис. … канд. геогр. наук / МГУ им. М.В. Ломоносова. М., 1969. 24 с.

57. Промысловая океанография // под ред. Д.Е. Гершановича. М.: Агропромиздат, 1986. 336 с.

58. Промысловое описание района юго-восточной части Тихого океана. Л.: ГУ навигации и океанографии Министерства обороны, 1985. 185 с.

59. Промысловый атлас Юго-восточной части Тихого океана за 1991 г. / под ред. В.Г. Писаренко, И.И. Шеремет, С.В. Мостовая. Калининград: АтлантНИРО, 1992. 84 с.

60. Саруханян Э.И. Структура и изменчивость Антарктического циркумполярного течения. Л.: Гидрометиздат, 1980. 117 с.

61. Сидоренков Н.С. Атмосферные процессы и вращение Земли. СПб.: Гидрометиздат, 2002. 200 с.

62. Сирота А.М. Структура и динамика вод в районе канарского апвеллинга и состояние популяций пелагических рыб: дис. … канд. геогр. наук. Калининград, 2003. 182 с.

63. Сирота А.М., Андрианов Г.Н. Пространственно-временная изменчивость температуры поверхности вод Юго-Восточной части Тихого океана // Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в 2000-2001 гг. / Атлант. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Калининград, 2002. Т. 1: Атлантический океан и Юго-Восточная часть Тихого океана. С. 26-38.

64. Смирнов Н.П., Саруханян Э.И., Розанова И.В. Циклонические центры действия атмосферы Южного полушария и изменения климата. СПб.: РГГМУ, 2004. 209 с.

65. Соркина А.И. Опыт климатического районирования Мирового океана по циркуляционным признакам / Государственный океанографический институт. Л.: Гидрометиздат, 1949. Вып. 12 (24). 162 с.

66. Степанов В.Н. Океаносфера. М.: Мысль, 1983. 271 с.

67. Суханова И.Н., Ведерников В.И. Фитопланктон и первичная продукция в Субантарктической фронтальной зоне юго-восточной части Тихого океана / Биологические основы промыслового освоения районов океана. М.: Наука, 1985. С. 124-145.

68. Сушин В.А. Сырьевые рыбохозяйственные исследования в Атлантическом океане и Южной части Тихого океана / Атлант. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Калининград: АтлантНИРО, 1993. 264 с.

69. Тараканов Р.Ю. Методика выделения и свойства водных масс в тихоокеанском секторе Южного океана: дис. … канд. физ-мат. наук. М., 2006. 162 с.

70. Тимохин Е.Н. Структура и динамика вод в районе Бенгельского апвеллинга и их влияние на величину пополнения популяции капской ставриды: дис. … канд. геогр. наук. Калининград, 2004. 125 с.

71. Тимохин Е.Н. Изменчивость атмосферной циркуляции над южной частью Тихого океана и ее связь с океанической поверхностной циркуляцией // Вопросы промысловой океанологии. 2007. Вып. 4. №2. С. 192-205.

72. Тихий океан / под ред. К.К. Марков. Л.: Наука, 1981. С. 38-50

73. Чернышков П.П., Дерябин Н.Н. 30 лет со времени открытия и освоения ресурсов пелагических рыб в южной части Тихого океана // Рыбное хозяйство. 2008. №5. С. 30-33.

74. Чернявский Е.Б., Вавилова В.В., Максимов В.П. Биологические последствия подъема вод в открытом океане. М.: Министерство рыбного хозяйства СССР, 1976. Сер. 9. Вып. 4. с. 1-37.

75. Чурин 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.

76. Шулейкин В.В. Физика моря. М.: Наука, 1968. 841 с.

77. Arcos D. Editor. Biologia y ecologia del jurel en aguas chilenas. Talcahuano: Chile Instituto de Investigation Pesquera. 1998. 210 p.

78. Arcos D., Grechina A. Editores. Biologia y pesca commercial del Jurel en el Pacifico Sur. IIP. Chile. 1994. 203 p.

79. Atkinson A., Ward P., Hurt B.R.V., Pakhomov E.A., Hosie G.W. An overview of Southern Ocean zooplankton data: abundance, biomass, feeding and functional relationship // CCAMLR Science. 2012. Vol. 19. P. 171-218.

80. Belkin I.M., Gordon A.L. Southern-ocean fronts from the Greenwich meridian to Tasmania // J. Geoph. Res. 1996. V. 101. P. 3675-3696.

81. Carrissimo B.C., Oort A.H., Vonder-Haar T.H. Estimating the meridional energy transport in the atmosphere and ocean // J. Phys. Oceanogr. 1985. Vol. 15. N. 1. P. 82-91.

82. Carton J.A., Giese B.S. A Reanalysis of Ocean Climate Using Simple Ocean Data Assimilation (SODA) // Mon. Weather Rev. 2008. V. 136. P. 2999-3017.

83. Chaigneau A., Pizzaro O. Eddy characteristics in the eastern South Pacific // J. Geophys. Res. 2005. V. 110. N. C06. P. 1-12.

84. Chaigneau S., Gizolme A., Grados C. Mesoscale eddies off Peru in altimeter records: identification algorithms and eddy spatio-temporal patterns // Progr. In Oceanogr. 2008. V. 79. P. 106–119.

85. Chelton D.B., Schlax M.G., Samelson R.M. Global observations of nonlinear mesoscale eddies // Progr. in Oceanogr.. 2011. V. 91. N. 2. P. 1-50.

86. Chelton D.B., Schlax M.G., Samelson R.M., de Szoeke R.A. Global observations of large oceanic eddies // Geophys. Res. Lett. 34. 2007. P. 1-5.

87. Corinne A.H., Rana A.F., Bernadette M.S., Lynne D.T., Teresa K.C., Happell J. Formation rates of Subantarctic mode water and Antarctic intermediate water within the South Pacific // Deep-sea Research I, 2011. P. 525-534.

88. Corten E. The fishery for jack mackerel in the Eastern Central Pacific by European trawlers in 2008 and 2009. Eight International Meeting: SWG: Jack Mackerel Sub-group. 2009. [Электронный ресурс]. URL: http://southpacificrfmo.org, version (05/2010).

89. Fraga F., Barton E.D., Llinas O. The concentration of nutrients salts in "pure" North ans South Atlantic Central Waters // Int. Symp. Upw. W Afr., Inst. Inv. Pesq., Barselona. 1984. V. 1. P. 25-36.

90. Gill A.E. Atmosphere–Ocean Dynamics. Academic Press, 1982. 662 p.

91. Gong D., Wang S. Definition of Antarctic oscillation index // Geophis. Res. Ltrs. 1999. Vol. 26, No. 4. P. 459–462.

92. Grechina A.S., Nunez S., Arcos D. El desove del recurso jurel Trachurus symmetricus murphyi (Nichols) en el oceano Pacifico sur. In: Arcos D. (ed.) Biologia y ecologia del jurel en aguas chilenas. Chile. Talcahuano: Instituto de Investigation Pesquera. 1998. P. 117-140.

93. Hanawa K., Talley L.D. Mode Waters. In Ocean circulation and climat-observing and modeling the global ocean, Siedler G., Church J., Gould J., eds., Academic Press, 2001. P. 373–386.

94. Isern-Fontanet J., Garcia-Ladona E., Font J. Identification of marine eddies from altimetric maps // J. Atmos. Oceanic Technol. 2003. V. 20. P. 772–778.

95. Iudicone D., Rodgers K.B., Schopp R., Madec G. An exchange window for the injection of Antarctic Intermediate Water into the South Pacific // J. Phys. Oceanogr. 2007. V. 37. P. 31-49.

96 Klinck J.M., Nowland W.D. Jr. Antarctic Circumpolar Current. Encyclopedia of Ocean Science. Academic Press: 2001. P. 151-159.

97. Knauss, J.A. Introduction to Physical Oceanography. Prentice-Hall Inc., 1996, P. 152-156.

98. Roemmich D., Gilson J., Davis R., Sutton P., Wijffels S., Riser S. Decadal Spinup of the South Pacific Subtropical Gyre // J. Phys. Oceanogr. 2005. V. 37. N. 2. P. 162-173.

99. Russell J.L., Dickson A.G. Variability in oxygen and nutrients in South Pacific Antarctic Intermediate Water // Global Biogeochem. Cycles. 2003. V. 17. P. 2-11.

100. Serra R. Important life history aspects of the Chilean jack mackerel, Trachurus symmetricus murphyi // Investigation Pesquera (Chile). 1991. №36. P. 67-83.

101. Sloyan B.H., Rintoul S.R. Circulation, renewal and modification of Antarctic Mode and Intermediate Water // J. Phys. Oceanogr. 2001. V. 31. №4. P. 1005-1030.

102. Spall M.A. Generation of strong mesoscale eddies by weak ocean gyres // J. Mar. Res. 2000. V. 58. P. 97–116.

103. SPRFMO WG The Report of the Jack Mackerel subgroup, Annex SWG-03, 2013. [Электронный ресурс]. URL: http://www.southpacificrfmo.org/documents-4/.

104. Steward R. Introduction to Physical Oceanography. Department of Oceanography Texas A & M University, 2008. Electronic book - http://oceanworld.tamu.edu/resources/ocng_textbook/PDF_files/book.pdf (дата обращения: 18.04.2014).

105. Stommel H. Thermohaline convection with two stable regime of flows // Tellus. 1961, Vol. 13. N. 2. P. 224-230

106. Terence J. O'Kane, Peter R. Oke, Paul A. Sandery. Predicting the East Australian Current // Ocean modeling. 2011. V. 38. P. 251-266.

107. Wooster W.S., Reid J.L., Eastern Boundary Currents. The sea ideas and observation on progress in the study of the seas, V. 2, N.Y.: Intersci. Publ. Div. John Wiley and Sons, 1963. 554 p.

108. Морская доктрина Российской Федерации до 2020 г. [Электронный ресурс]. URL: http://www.scrf.gov.ru/documents/34.html (дата обращения: 22.04.2014).

109. Основные рыбопромысловые районы согласно классификации FAO. [Электронный ресурс]. URL: http://www.fao.org/fishery/area/Area87/en (дата обращения: 22.04.2014).

110. Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data (AVISO). [Электронный ресурс]. URL: http://www.aviso.oceanobs.com/en/ (дата обращения: 22.04.2014).

111. Comments and suggestions regarding the parameters and age-structured model currently used for the assessment of Jack Mackerel in the SPRFMO (Lima, Peru, 15-19 October, 2012). [Электронный ресурс]. URL: http://www.southpacificrfmo.org/assets/11th-SWG-and-10th-DIWG-meetings/JM-subgroup/SWG-11-JM-02-Comments-and-Suggestions-regarding-the-Parameters1.pdf (дата обращения: 22.04.2014).

112. Cordova J., Bahamonde R., Catasti V., Bosic V. Acoustic biomass of Jack Mackerel (Trachurus murphy, Nichols, 1920) structured by size and age in the centrac coast off Chile // Eighth International Meeting: SWG: Jack Mackerel Sub-group. 2008. [Электронный ресурс]. URL: https://www.sprfmo.int/assets/Meetings/Meetings-

before-2013/Scientific-Working-Group/SWG-08-2009/JM-WG/SP-08-SWG-JM-03-Ac-Biomass-Jack-Mackerel-final.pdf (дата обращения: 22.04.2014).

113. Francois Gerlotto, Mariano Gutierrez, Arnaud Bertrand, Insight on population structure of the Chilean Jack Mackerel (Trachurus murphy N.) // 11th Meeting of the Science Working Group SPRFMO (Lima, Peru, 15-19 October, 2012). [Электронный ресурс]. URL: http://www.southpacificrfmo.org/assets/11th-SWG-and-10th-DIWG-meetings/JM-subgroup/SWG-11-JM-04-Insight-on-Population-Structure.pdf (дата обращения: 22.04.2014).

114. Global Marine Argo Atlas. [Электронный ресурс]. URL: http://www.argo.ucsd.edu/Marine_Atlas.html (дата обращения: 22.04.2014).

115. Integrated Global Ocean Services System (IGOSS). Reynolds, Smith SST. [Электронный ресурс]. URL: http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.IGOSS/.nmc/.Reyn_SmithOIv2/.monthly/.sst/dataselection.html (дата обращения: 22.04.2014).

116. Mesoscale eddies in Altimeter Observations of SSH. [Электронный ресурс]. URL: http://cioss.coas.oregonstate.edu/eddies/data.html (дата обращения: 22.04.2014).

117. National Centers for Environmental Prediction - National Center for Atmospheric Research (NCEP-NCAR). [Электронный ресурс]. URL: http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCEP-NCAR/.CDAS-1/.MONTHLY/.Intrinsic/.MSL/pressure/dataselection.html (дата обращения: 22.04.2014).

118. Park and Profile Mission Operation. [Электронный ресурс]. URL: http://www.argo.ucsd.edu/operation_park_profile.jpg (дата обращения: 22.04.2014).

119. Report of the south Pacific regional fishery management organization // Chilean Jack Mackerel workshop (Santiago, Chile, 30 June - 4 July, 2008) [Электронный ресурс]. URL: http://www.southpacificrfmo.org/assets/6th-Meeting-October-2008-Canberra/JM-Subgroup-VI/SPRFMO-VI-SWG-JMSG-02.pdf (дата обращения: 22.04.2014).

120. Simple Ocean Data Assimilation (SODA). Oceanic and air-sea interface data. [Электронный ресурс]. URL: http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.CARTON-GIESE/.SODA/.v2p2p4/ (дата обращения: 22.04.2014).

121. World Ocean Circulation Experiment (WOCE). A summary of the WOCE global data resource. [Электронный ресурс]. URL:

http://www.nodc.noaa.gov/woce/wdiu/updates/Data_Resource.pdf (дата обращения: 22.04.2014).

122. Zhang M., Zou X., Zhou Y. Report of data collection on Jack mackerel in South-East Pacific China. Shanghai Ocean University. Chilean Jack Mackerel Workshop. SPRFMO. 2008. [Электронный ресурс]. URL: https://www.sprfmo.int/assets/Meetings/Meetings-before-2013/Scientific-Working-Group/Jack-Mackerel-Workshop-2008/15.CHJMWS-Report-of-data-collection-on-Jack-mackerel-in-South-East-Pacific-rev2.pdf