

КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи
УДК 551.465 (261.6):
639.2.053.1

Ремесло Александр Васильевич

СТРУКТУРА И ДИНАМИКА ВОД В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ
АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ПРОМЫСЕЛ ГИДРОБИОНТОВ

специальность 11.00.08 - океанология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Калининград
1998

Заказ 987 Объем 1 п.л.	Подписано в печать 03.11.98 Тираж 80	Формат 60x84 1/16 Бесплатно
Ротапринт	ОНТИ	АтлантНИРО

Работа выполнена в Атлантическом научно-исследовательском институте рыбного хозяйства и океанографии (АтлантНИРО)

Научные руководители:

кандидат географических наук П.П. Чернышков
доктор географических наук, профессор В.Н. Яковлев

Официальные оппоненты:

кандидат географических наук, профессор Т.А. Берникова
доктор биологических наук, профессор В.И. Саускан

Ведущая организация: Атлантическое отделение института океанологии им. П.П. Ширшова РАН.

Защита состоится "16" декабря 2002 г. в 15 ч. на заседании диссертационного совета (К 064.34.02) при Кабинете по адресу: 236040 Калининград, ул. Мухоморова, д. 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Калининградского государственного университета.

Автореферат разослан "16" декабря 2002 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат географических наук, доцент

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Рассматриваемый район Юго-Западной Атлантики (ЮЗА) расположен между 38-50° ю.ш. и от побережья Южной Америки до 40° з.д.. Взаимодействие холодного Фолклендского и теплого Бразильского течений, активные процессы вихреобразования, сток крупных южноамериканских рек определяют уникальность его океанологических условий, своеобразие состава и распределения флоры и фауны. Здесь также добываются многие ценные виды рыб, сосредоточен основной промысел кальмара в Атлантическом океане.

Современная доктрина управления биоресурсами Мирового океана базируется на рациональном и долговременном их использовании. Это предъявляет все более высокие требования к качеству промысловых прогнозов и рекомендаций, составление которых невозможно без учета влияния структуры и динамики вод на распределение и промысел гидробионтов.

Однако до настоящего времени сравнительно мало публикаций посвящено океанологическим условиям промысловых районов ЮЗА за пределами экономических 200-мильных зон прибрежных государств, структуре и изменчивости Фолклендского и Бразильского течений, антициклоническим фронтальными вихрями Бразильского течения. Еще меньше работ, в которых анализируется влияние абиотических факторов на распределение и промысел гидробионтов в ЮЗА. Изученность этих вопросов для решения в первую очередь прикладных задач промысловой океанологии явно недостаточна, и по этой причине актуальность темы представляется очевидной.

Цель работы состоит в выявлении особенностей структуры и динамики вод ЮЗА и их влияния (на примере светящихся анчоусов и аргентинского короткоперого кальмара) на распределение и промысел гидробионтов.

В связи с этим, и с учетом имеющихся материалов, были определены следующие задачи работы:

1. Изучить временную изменчивость геострофических расходов и термодинамической структуры вод Фолклендского течения на разрезе по 46° ю.ш..
2. Проанализировать внутримесячную изменчивость Фолклендского течения по данным синхронных судовых гидрометеорологических наблюдений и спутниковых данных распределения температуры на поверхности океана.

3. Описать термохалинную структуру, динамику и эволюцию антициклонических фронтальных вихрей Бразильского течения.

4. Рассчитать потоки тепла и соли, переносимые антициклоническими фронтальными вихрями Бразильского течения из субтропической широтной зоны в субантарктическую.

5. Проанализировать закономерности распределения миктофид (светящихся анчоусов) в зависимости от структуры и динамики вод в юго-западной части Аргентинской котловины.

6. Описать основные черты пространственно-временной изменчивости термохалинной структуры вод на промысловом участке Патагонского шельфа между 45-47° ю.ш. за пределами 200-мильной экономической зоны Аргентины.

7. Оценить влияние динамики Фолклендского течения и термохалинных условий на промысел аргентинского короткопорого кальмара.

Для решения этих задач были использованы гидрометеорологические данные свыше 70 рейсов АтлантНИРО и управления "Запрыбпромразведка" в ЮЗА за период с 1980 по 1996 г., промысловая статистика уловов аргентинского короткопорого кальмара и биологические материалы отдельных экспедиций.

Особую ценность в этом ряду наблюдений имеет уникальный, аналога которому не существует в Южной Атлантике, гидрологический разрез по 46° ю.ш., выполненный поперек Фолклендского течения 140 раз за период с 1982 по 1996 г., а также большое число спутниковых снимков, обеспеченных надежными подспутниковыми измерениями температуры поверхности океана (ТПО).

Кроме материалов АтлантНИРО, использованы декадные карты ТПО, построенные для района ЮЗА на основе информации с искусственных спутников земли во ВНИРО с 1987 по 1997 г., и среднемесячные значения градиентов приземного атмосферного давления, рассчитанные по ежедекадным картам Гидрометцентра России в узлах регулярной сетки над акваторией Южной Атлантики с 1965 по 1994 г..

Автор лично принимал участие в 6-ти экспедициях в ЮЗА, разработке программ и методик проведения научно-исследовательских работ.

Научная новизна состоит в следующем:

Впервые выполнен анализ внутримесячной, внутригодовой и межгодовой изменчивости геострофических расходов Фолклендского течения. Описана из-

менчивость термохалинной структуры вод над материковым склоном в зависимости от динамики Фолклендского течения. Дополнены представления о взаимодействии Фолклендского и Бразильского течений, влиянии изменчивости Фолклендского течения на формирование антициклонических фронтальных вихрей Бразильского течения. Подробно описана термохалинная структура и динамика антициклонических фронтальных вихрей Бразильского течения. Выполнены расчеты переноса тепла и соли этими вихрями из субтропической широтной зоны в субантарктическую.

Рассмотрено распределение 40 видов миктофид в различных водных массах и их модификациях. Показано влияние западных пограничных течений в ЮЗА и антициклонических фронтальных вихрей Бразильского течения на распределение миктофид. Определены виды-индикаторы водных масс.

Установлены конкретные прогностические зависимости между уловами аргентинского короткопорого кальмара, изменчивостью атмосферных переносов, интенсивностью Фолклендского течения и термохалинной структурой вод.

Практическая ценность. Выявленные причинно-следственные связи между изменчивостью термических условий в ЮЗА, динамикой Фолклендского течения и уловами аргентинского короткопорого кальмара нашли достаточно широкое применение при составлении промысловых прогнозов различной заблаговременности, передаваемых АтлантНИРО рыбодобывающим организациям. Полученные результаты могут быть также использованы для определения зон повышенной биологической продуктивности в ЮЗА при планировании и проведении научно-исследовательских работ в этом районе.

Апробация результатов проводилась на 3-й региональной конференции Географического общества СССР "Комплексное изучение природы Атлантического океана" (Калининград, 1985), на 9-й Всероссийской конференции по промысловой океанологии (Калининград, 1993), на совещании специалистов АтлантНИРО и Национального института рыболовства Аргентины по результатам рейса НПС "Дмитрий Стефанов" в экономическую зону Аргентины (Мар-дель-Плата, Аргентина, 1993), на международном симпозиуме по циркуляции Южной Атлантики (Бремен, Германия, 1994), на 10-й международной конференции по промысловой океанологии (Санкт-Петербург, 1997), семинарах и коллоквиумах АтлантНИРО и Института океанологии РАН.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 17 работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы, состоящего из 181 наименования, изложена на 178 страницах., содержит 71 рисунок, 5 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во Введении обосновывается актуальность выбранной темы, формулируются цели и задачи исследования, представлены основные результаты, выносимые на защиту.

В первой главе по литературным данным представлены общие сведения о фронтальной структуре, водных массах и циркуляции вод Южной Атлантики.

В первом разделе главы рассматривается фронтальная структура, пространственные особенности которой во многом обусловлены конфигурацией береговой линии и рельефом дна (Саруханиян, Смирнов, 1986; Белкин, 1993).

В настоящее время в соответствии с общепринятой терминологией в этом районе выделяют три основных фронта, к которым приурочены струйные течения восточного направления: субтропический, субантарктический и полярный, определяющие соответственно северную и южную границу полярной фронтальной зоны.

Особого внимания заслуживает принципиально новая схема фронтальной структуры Южной Атлантики, предложенная Питерсеном и Витворсом (Peterson, Whitworth, 1989). По их мнению, к востоку от пролива Дрейка полярная фронтальная зона значительно расширяется, субантарктический фронт круто поворачивает на север и, окаймляя воды Фолклендского течения, достигает приблизительно 40° ю.ш.. При этом южный полярный фронт сохраняет свою направленность на северо-восток. Наличие меридиональной петли субантарктического фронта в ЮЗА является наиболее существенной отличительной особенностью схемы Питерсона-Витворса, находящей все большее число сторонников. Интересно, что она очень хорошо согласуется со схемой биогеографических зон ЮЗА Несиса (1974), Дадона и Болтовского (Dadon, Boltoskov, 1982).

Во втором разделе главы анализируется распределение и происхождение водных масс Южной Атлантики, приводятся их характеристики и критерии выделения.

В третьем разделе показаны особенности динамики вод ЮЗА, приведены результаты инструментальных измерений, расчетные оценки скоростей и объемного переноса вод на Патагонском шельфе, а также Бразильским и Фолклендским течениями (Boltovskoy, 1970, Зырянов, Северов, 1979, Forres, Garraffo, 1988, Stramma, 1989).

Основной особенностью очень интенсивных квазипериодических возмущений циркуляции вод в этом районе является формирование примерно каждые два месяца далеко продвинутой на юг петли Бразильского течения с дальнейшим однократным или многократным отсечением и последующим образованием крупного антициклонического вихря или меридиональной цепочки из нескольких вихрей (Каменкович и др., 1987).

Во второй главе выполнен анализ пространственно-временной изменчивости и термохалинной структуры Фолклендского течения.

В первом разделе главы описана пространственная структура Фолклендского течения. На спутниковых снимках оно обнаруживается как полоса холодной воды шириной 70-100 км, температура в которой относительно равномерно повышается в северо-восточном направлении. Восточная и западная границы течения хорошо определяются по максимальным градиентам ТПО поперек потока, которые достигают 1°C/2 км (Legeckis, Gordon, 1982). Так, в марте 1987 г. в рейсе НПС "Очер" был получен качественный спутниковый снимок (рис. 1), на котором отчетливо видно, что в районе распространения вод Фолклендского течения происходило повышение поверхностной температуры с 9 до 17°C от 48 до 38° ю.ш. (Fedulov et al., 1990).

Наибольшие термические контрасты обнаружены в районе его слияния с Бразильским течением, где они могут достигать 1°C на 67 м (Jonson, Norris, 1977), что является рекордной величиной для Мирового океана (Каменкович и др., 1977).

Обсуждается понятие и термин "Западно-Фолклендское течение". По мнению автора, называть поток вод, идущий по Патагонскому шельфу в северном направлении, Западно-Фолклендским течением в силу значительных различий термохалинной структуры с Антарктическим циркумполярным течением (АЦТ) представляется неправомерным. Спорным выглядит слияние западной и вос-

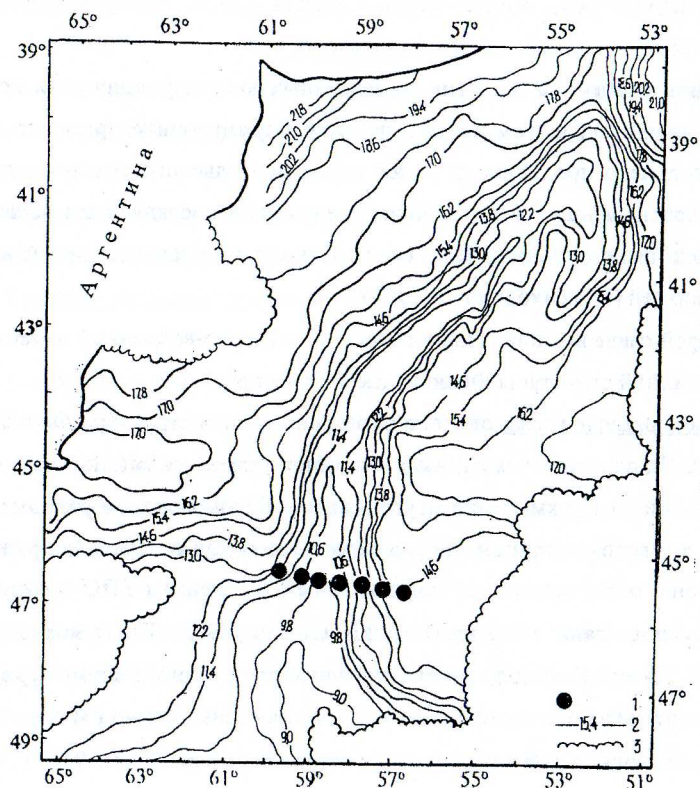


Рис. 1 Распределение температуры воды на поверхности океана в районе распространения Фолклендского течения по данным ИСЗ "NOAA-9" 06.03.1987 г.

1 - гидрологические станции на разрезе по 46° ю.ш.; 2 - изотермы;
3 - границы облачности

точной ветвей этого течения в районе 46-48° ю.ш., как это показано на схеме Северова (Severov, 1990). На спутниковых снимках очень часто наблюдается заток шельфовых теплых вод с северо-запада по направлению к Фолклендским островам, который перекрывает так называемое Западно-Фолклендское течение. Этот термин, по мнению автора, может употребляться по отношению к течению, проходящему к юго-западу от Фолклендских островов и достигающему приблизительно 50° ю.ш..

Во втором разделе главы описана изменчивость геострофических расходов и термохалинная структура Фолклендского течения на 46° ю.ш.. Во внутригодовом ходе среднемесячных значений геострофических расходов хорошо выражена полугодовая гармоника. Максимальные расходы отмечаются в апреле и августе, минимальные - в июле и феврале. Период повышенных расходов продолжается с августа по октябрь, пониженных - с ноября по февраль. Полугодовая волна изменчивости расходов достаточно хорошо согласуется по фазе с полугодовой гармоникой изменчивости атмосферных переносов над ЮЗА. Сопоставление полугодовой волны в АЦТ, выявленной по инструментальным наблюдениям за скоростями течения в проливе Дрейка (Сарухаян, 1980) и внутригодовой изменчивости расходов Фолклендского течения на разрезе по 46° ю.ш. позволяет сделать предположение о запаздывании примерно на один-два месяца процессов в Фолклендском течении по отношению к АЦТ.

Изменения средних для осени Южного полушария расходов (этот период года наиболее обеспечен данными) показывают общую тенденцию уменьшения интенсивности Фолклендского течения с 1982 по 1987 г. и ее возрастание с 1987 по 1990 г..

Спектральный анализ расходов с декабря 1987 по сентябрь 1988 г., приведенных к 5, 15, 25 числам каждого месяца, по данным 29 разрезов выявил четко выраженную квазитрехмесячную и квазиполуторамесячную периодичность.

Внутримесячная изменчивость интенсивности Фолклендского течения на 46° ю.ш. меньше, чем межгодовая и сезонная. Расходы, вычисленные по сериям разрезов, выполненных в разные сезоны через 7-10 суток, как правило, близки по величине, однако, в отдельных случаях наблюдается двух-трехкратное изменение величин расходов в течение месяца.

На поверхности Фолклендское течение сформировано субантарктическими поверхностными водами, которые, по мнению автора, представляют собой отдельную модификацию. По сравнению с поверхностными водами западной части Аргентинской котловины они более холодные и распресненные. Эти воды характеризуются четко выраженным поверхностным минимумом температуры, которому на 46°ю.ш. соответствует соленость в узком интервале значений от 34,07 до 34,17‰.

Основную часть вод, переносимых потоком Фолклендского течения, составляют антарктические промежуточные воды, которые на разрезе по 46°ю.ш. прослеживаются от 80-350 до 1000 м. Ядро этой водной массы вне зависимости от времени года и глубины залегания имеет температуру около 3°C и соленость 34,17-34,22‰.

Динамика вод над материковым склоном тесно связана с режимом Фолклендского течения. Когда течение усилено, принимает струйный "характер" и приближается к материковому склону, между его стрежнем (зоной максимальных горизонтальных градиентов температуры и солености) и склоном происходит опускание вод. В этих случаях изотерма 4,0°C, взятая в качестве индикатора в придонных слоях, обычно находится глубже 650 м и может достигать 800-850 м.

В противоположной динамической ситуации, когда течение ослаблено (наклон изотерм и изохалин при этом пологий), антарктическая промежуточная водная масса поднимается по материковому склону, и глубина залегания изотермы 4,0°C не превышает 350-500 м.

Таким образом, наблюдается чрезвычайно интересное явление: усиление холодного Фолклендского течения приводит к повышению температуры воды над материковым склоном, ослабление - к понижению.

В третьем разделе главы представлены результаты анализа короткопериодной изменчивости Фолклендского течения по данным синхронных спутниковых и судовых гидрометеорологических наблюдений. Отмечены такие явления, как спорадический вынос вод Фолклендского течения на Патагонский шельф в районе 45-47°ю.ш. и возникновение потоков шельфовых вод поперек Фолклендского течения.

Найдена зависимость между положением стрежня Фолклендского течения на 46°ю.ш. и местонахождением субтропического фронта на 40°ю.ш.. При ослаблении западных переносов воздушных масс стрежень Фолклендского течения принимает сложную s-образную форму, отмечается меандрирование и образование завихренностей разного знака по обе стороны от потока, расходы понижаются, волновые возмущения перемещаются на север вдоль потока со скоростью около 27 км/сут. Как правило, приблизительно через 5 суток происходит усиление западных переносов воздушных масс, течение принимает прямолинейную форму, возрастает объем переносимых вод. Затем вновь наступает фаза ослабления переносов воздушных масс, меандрирование и ослабление течения. Передача возмущения от Фолклендского течения на 45-47°ю.ш. к субтропическому фронту на 40°ю.ш. также происходит примерно через пять суток. Скорость движения западной границы субтропического фронта может достигать 32 км/сут.

В третьей главе дано описание термохалинной структуры, динамики и эволюции антициклонических фронтальных вихрей Бразильского течения.

В первом разделе главы представлены общие сведения о фронтальных антициклонических вихрях Бразильского течения, которые были обнаружены и изучались в основном по спутниковым снимкам распределения температуры поверхности океана (Legeckis, Gordon, 1982).

Во втором разделе главы описана термохалинная структура и приведены результаты расчетов переноса тепла и соли фронтальными вихрями Бразильского течения.

В августе-сентябре 1985 г. во время выполнения гидрологической съемки в юго-западной части Аргентинской котловины к югу от петли Бразильского течения был зафиксирован фронтальный вихрь, хорошо выраженный в распределении полей температуры и солености (рис. 2). Его размеры составляли около 140 км по большой оси и 90 км по малой. Ядро вихря, достигавшее глубины 250 м - линза однородной воды: температура и соленость в пределах ядра были практически постоянными и равными соответственно $11.7 \pm 0.1^\circ\text{C}$ и $35.25 \pm 0.05\text{‰}$. Горизонтальные размеры ядра - 80 км на 35 км соответственно по большой и малой осям. В ядре вихря температура на 3.5-4.0°, а соленость на 0.5-0.6‰ ниже, чем в субтропической воде внутри петли Бразильского течения. Если за индексы субтропической воды в слое 0-250 м принять значения $T = 15.8^\circ\text{C}$, $S = 35.7\text{‰}$, а

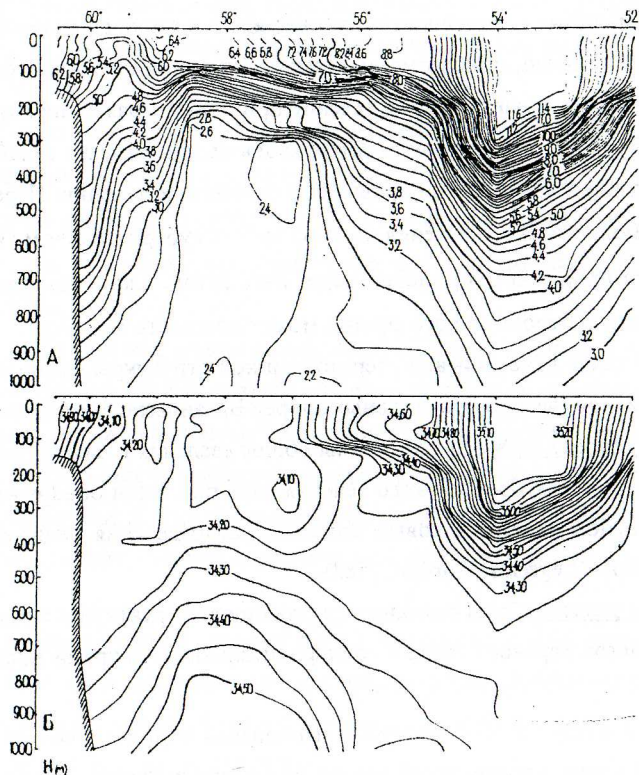


Рис. 2 Вертикальное распределение температуры (А) и солености (Б) на разрезе по 46° ю.ш. через антициклонический вихрь Бразильского течения 13-17.09.1985 г.

за индексы субантарктической воды $T = 4.6^{\circ}\text{C}$, $S = 34.3\text{‰}$ то T,S - анализ вод ядра показал, что оно состояло из 70% субтропической и 30% субантарктической воды.

Периферия вихря, определяемая как зона максимальных горизонтальных градиентов гидрофизических характеристик, была шириной около 30 км. Средний горизонтальный градиент поверхностной температуры на периферии вихря, определенный по непрерывной записи ТПО на ходу судна, составлял $0.1^{\circ}\text{C}/\text{км}$. Максимальный поверхностный градиент отмечался на внешней границе периферии вихря - $1.1^{\circ}\text{C}/\text{км}$, а на внутренней границе, т.е. при входе в ядро градиент достигал $0.6^{\circ}\text{C}/\text{км}$. Средний градиент солености на периферии вихря в верхнем 100 метровом слое составил $0.02\text{‰}/\text{км}$. В центральной части вихря под ядром происходило резкое понижение температуры и солености с глубиной в слое до 500 м. Глубже этого слоя в вихревое движение были вовлечены антарктические промежуточные воды, характеризующиеся минимумом солености и меньшим вертикальным градиентом температуры.

Расчеты показали, что теплосодержание ядра вихря составляло 57.10^{20} Дж, нижней его части (слой 500-1000 м), сформированной в основном из антарктической промежуточной воды, - $5.5 \cdot 10^{21}$ Дж. По отношению к равному объему невозмущенных вод субантарктической структуры аномалия тепла в ядре вихря составила 0.9×10^{19} Дж, в слое 0-500 м - 7.5×10^{10} Дж и в слое 500-1000 м - 1.7×10^{19} Дж. Суммарная аномалия тепла всего вихря - 9.2×10^{19} Дж. Таким образом, 80% общей аномалии тепла вихря пришлось на его верхний 500-метровый слой.

Во всем вихре в слое до 1000 м содержалось 35.2×10^{10} т солей, в том числе в ядре 2.0×10^{10} т, в слоях 0-500 и 500-1000 и по 17.7×10^{10} т и 17.5×10^{10} т соответственно. Если принять среднюю соленость субантарктической воды в слое 0-250 м 34.40‰ , среднюю соленость для слоя 0-1000 м - 34.24‰ , то аномалия содержания соли составит: для всего вихря 0.7×10^{10} т; для ядра 0.1×10^{10} т; для слоев 0-500 и 500-1000 м 0.2×10^{10} т и 0.5×10^{10} т соответственно. Аномалия соли была сосредоточена в основном в нижней части вихря - в слое 500-1000 м, так как на этих горизонтах вихрь окружали антарктические промежуточные воды пониженной солености.

Исходя из предположения, что тепло- и солесодержание вихрей пропорционально их объему и беря за основу средние размеры вихря, полученные Легеки-

сом и Гордоном (Legeckis, Gordon, 1982), а также приведенные оценки аномалий тепло- и солесодержания, получим, что в год осуществляется перекачка $4.7 \cdot 10^{21}$ Дж тепла и $36.1 \cdot 10^{10}$ т солей из субтропической зоны в субантарктическую. Среднегодовой поток тепла в этом случае составит около $15 \cdot 10^{13}$ Вт. Эта величина практически вдвое меньше оценок переноса тепла в год через антарктический полярный фронт на юг (Багрянцев, Гурецкий, 1986).

Несколько отличную термохалинную структуру имели вихри, формирование которых происходило в теплое время года. Так, вихрь, образовавшийся в январе 1987 г., был пересечен гидрологическим разрезом в марте этого же года. В верхнем 500-600-метровом слое антициклон представлял собой теплую, соленую, высокоградиентную линзу вод, вторгнувшуюся в воды субантарктической структуры. В центральной части вихря от поверхности до горизонта 75 м температура 21.5°C оставалась практически без изменений. От 75 до 125 м прослеживался слой сезонного термоклина, к верхней границе которого был приурочен промежуточный максимум солености - 36.5‰ . От 125 до 300 метров температура и соленость относительно плавно понижались от 18 до 13°C и от 36.0 до 35.5‰ . Глубже 300 м вертикальный термохалинный градиент вновь возрастал: от 300 м до 600 м температура понижалась от 15 до 5°C , соленость 35.5 до 34.2‰ . В этом интервале глубин субтропическая поверхностная водная масса, образующая ядро вихря, трансформировалась и теряла свои первоначальные свойства.

Максимальные горизонтальные градиенты температуры и солености отмечались не на поверхности, а в интервале глубин от 100- до 500 м. На горизонте 200 м средние горизонтальные градиенты этих характеристик составили соответственно 0.04‰ и 0.3°C на 1 км.

Таким образом, отличительной особенностью вихрей, образующихся в летний период, является наличие сезонного термоклина и подповерхностного максимума солености. У вихрей, формирование которых происходит в холодное время года, однородное ядро выражено более отчетливо и прослеживается до больших глубин.

В третьем разделе главы описана динамика и эволюция фронтальных антициклонических вихрей Бразильского течения. Вихри, смещающиеся в юго-западном направлении к Фолклендскому течению, как правило, быстро разрушаются. Напротив, вихри, движение которых происходит в южном направле-

нии, прослеживаются на спутниковых снимках длительное время, могут пересекать субантарктическую зону и достигать субантарктического фронта. Дальнейшее их движение происходит в восточном направлении. Подповерхностные высокосоленные линзы вод, представляющие собой заглубленные ядра вихрей, обнаружены на гидрологических разрезах на траверзе о. Южная Георгия к северу от субантарктического фронта. Средняя скорость движения вихрей в южном направлении - около 10 км/сутки, максимальная - около 40 км/сутки.

В четвертой главе рассматривается влияние пространственно-временной изменчивости структуры и динамики вод в ЮЗА (на примере миктофид и аргентинского короткоперого кальмара) на распределение и промысел гидробионтов.

В первом разделе главы проанализировано распределение 40 видов миктофид в августе-сентябре 1985 г. в юго-западной части Аргентинской котловины между $40^\circ 30' 47'' 00''$ ю.ш. в зависимости от структуры и динамики вод. Дано краткое описание первичных материалов, методик сбора и обработки биологических и гидрологических данных.

Ареалы видов тепловодно-тропического комплекса отнесены к центральным (бицентральному), периферическим, переходным, широкотропическим, а умеренно-холодноводного - к нотально-переходным, нотальным, нотально-антарктическим и антарктическим типам (Беккер, Евсеенко, 1986). По результатам Т,S-анализа и гидрологическим характеристикам, в районе выделены следующие типы вод:

1. Воды субтропической фронтальной зоны (СТФЗ). Резко выраженная, высокоградиентная зона, разделяющая СТНВ и САНВ. Прослеживается до глубины 300-500 м. Температура вод в зоне СТФЗ изменялась от 4.3 до 14.8°C , соленость от 34.10 до 35.70‰ .

2. Субтропические поверхностные воды (СТПВ). Распространяются к северу от СТФЗ от поверхности до глубины 250-300 м. Температура СТПВ 14.80 - 18.50°C , соленость 35.70 - 35.85‰ .

3. Субантарктические поверхностные воды (САНВ). Занимали акваторию к югу от СТФЗ, прослеживаясь от поверхности до 150-200 м в областях подъема вод и заглублялись вблизи СТФЗ и под антициклоническим фронтальным вих-

сом и Гордоном (Legeckis, Gordon, 1982), а также приведенные оценки аномалий тепло- и солесодержания, получим, что в год осуществляется перекачка $4.7 \cdot 10^{21}$ Дж тепла и $36.1 \cdot 10^{10}$ т солей из субтропической зоны в субантарктическую. Среднегодовой поток тепла в этом случае составит около $15 \cdot 10^{13}$ Вт. Эта величина практически вдвое меньше оценок переноса тепла в год через антарктический полярный фронт на юг (Багрянцев, Гурецкий, 1986).

Несколько отличную термохалинную структуру имели вихри, формирование которых происходило в теплое время года. Так, вихрь, образовавшийся в январе 1987 г., был пересечен гидрологическим разрезом в марте этого же года. В верхнем 500-600-метровом слое антициклон представлял собой теплую, соленую, высокоградиентную линзу вод, вторгнувшуюся в воды субантарктической структуры. В центральной части вихря от поверхности до горизонта 75 м температура 21.5°C оставалась практически без изменений. От 75 до 125 м прослеживался слой сезонного термоклина, к верхней границе которого был приурочен промежуточный максимум солёности - 36.5‰ . От 125 до 300 метров температура и солёность относительно плавно понижались от 18 до 13°C и от 36.0 до 35.5‰ . Глубже 300 м вертикальный термохалинный градиент вновь возрастал: от 300 м до 600 м температура понижалась от 15 до 5°C , солёность 35.5 до 34.2‰ . В этом интервале глубин субтропическая поверхностная водная масса, образующая ядро вихря, трансформировалась и теряла свои первоначальные свойства.

Максимальные горизонтальные градиенты температуры и солёности отмечались не на поверхности, а в интервале глубин от 100- до 500 м. На горизонте 200 м средние горизонтальные градиенты этих характеристик составили соответственно 0.04‰ и 0.3°C на 1 км.

Таким образом, отличительной особенностью вихрей, образующихся в летний период, является наличие сезонного термоклина и подповерхностного максимума солёности. У вихрей, формирование которых происходит в холодное время года, однородное ядро выражено более отчетливо и прослеживается до больших глубин.

В третьем разделе главы описана динамика и эволюция фронтальных антициклонических вихрей Бразильского течения. Вихри, смещающиеся в юго-западном направлении к Фолклендскому течению, как правило, быстро разрушаются. Напротив, вихри, движение которых происходит в южном направле-

нии, прослеживаются на спутниковых снимках длительное время, могут пересекать субантарктическую зону и достигать субантарктического фронта. Дальнейшее их движение происходит в восточном направлении. Подповерхностные высокосолёные линзы вод, представляющие собой заглубленные ядра вихрей, обнаружены на гидрологических разрезах на траверзе о. Южная Георгия к северу от субантарктического фронта. Средняя скорость движения вихрей в южном направлении - около 10 км/сутки, максимальная - около 40 км/сутки.

В четвертой главе рассматривается влияние пространственно-временной изменчивости структуры и динамики вод в ЮЗА (на примере миктофид и аргентинского короткоперого кальмара) на распределение и промысел гидробионтов.

В первом разделе главы проанализировано распределение 40 видов миктофид в августе-сентябре 1985 г. в юго-западной части Аргентинской котловины между $40^\circ 30' 47'' 00'$ ю.ш. в зависимости от структуры и динамики вод. Дано краткое описание первичных материалов, методик сбора и обработки биологических и гидрологических данных.

Ареалы видов тепловодно-тропического комплекса отнесены к центральным (бицентральному), периферическим, переходным, широкотропическим, а умеренно-холодноводного - к нотально-переходным, нотальным, нотально-антарктическим и антарктическим типам (Беккер, Евсеенко, 1986). По результатам T,S-анализа и гидрологическим характеристикам, в районе выделены следующие типы вод:

1. Воды субтропической фронтальной зоны (СТФЗ). Резко выраженная, высокоградиентная зона, разделяющая СТПВ и САПВ. Прослеживается до глубины 300-500 м. Температура вод в зоне СТФЗ изменялась от 4.3 до 14.8°C , солёность от 34.10 до 35.70‰ .

2. Субтропические поверхностные воды (СТПВ). Распространяются к северу от СТФЗ от поверхности до глубины 250-300 м. Температура СТПВ 14.80 - 18.50°C , солёность 35.70 - 35.85‰ .

3. Субантарктические поверхностные воды (САПВ). Занимали акваторию к югу от СТФЗ, прослеживаясь от поверхности до 150-200 м в областях подъема вод и заглублялись вблизи СТФЗ и под антициклоническим фронтальным вих-

рем Бразильского течения до 500-700 м. Температура САПВ 4.3-8.0°C, соленость 34.10-34.25‰.

4. Антарктические промежуточные воды (АПРВ) находятся под САПВ. Температура - 2.5-4.2°C, соленость - 34.20-34.40‰. Облов миктофид в АПРВ выполнялся в верхних слоях.

5. Воды склона (ВС), или субантарктические поверхностные воды Фолклендского течения. При усилении Фолклендского течения ВС над материковым склоном ВС заглубляются до 800-850 м, а при его ослаблении до - 350-500 м. Температура - 4-6°C, соленость - 33.90-34.25‰.

6. Трансформированные субантарктические воды (ТСАВ). Приурочены к циклоническим меандрам к югу от СТФЗ. ТСАВ - результат смешения СТПВ, САПВ и, вероятно, в меньшей степени АПРВ. Температура 4.3-11.0°C, соленость - 34.24-34.60‰. Прослеживались от поверхности до 350-500 м. При одинаковой с САПВ температурой ТСАВ имели более высокую соленость.

7. Ядро антициклонического фронтального вихря Бразильского течения (ЯВ). Однородная линза воды, достигавшая 250 м. Температура - 11.7±0.1°C, соленость - 35.25±0.05‰.

8. Периферия антициклонического фронтального вихря (ПВ) - зона повышенных горизонтальных градиентов гидрофизических характеристик шириной около 30 км. Соленость в ПВ изменялась от 34,30 до 35,20‰, температура - от 6,0 до 11,6°C.

На акватории, охваченной съемкой, были выделены также шельфовые воды (ШВ) с температурой выше 6°C и соленостью ниже 33.90‰ и глубинные воды (ГВ) с температурой ниже 2.5°C и соленостью выше 34.55‰. Облов миктофид в этих водах не проводился.

Большинство тепловодно-тропических видов обловлено в СТПВ и СТФЗ, а умеренно-холодноводных - в САПВ, АПРВ, ПВ. Число тех и других видов в ЯВ и ТСАВ различалось незначительно. В ВС число видов было наименьшим. В них присутствовали только нотальные и нотально-антарктические миктофиды.

В СТФЗ отмечено максимальное видовое разнообразие, в 90% тралений были представлены все широкотропические виды, однако, около половины численности и биомассы приходилось на долю переходного вида *Lampichthys*

procerus. Из умеренно-холодноводных миктофид наиболее многочисленным в СТФЗ был нотально-переходный *Protomystophum normani* (8.6% общей численности и 3.4% биомассы) В СТПВ встречено 13 тепловодно-тропических и в незначительном количестве 3 умеренно-холодноводных вида (*Protomystophum normani*, *Electrona ventralis*, *Electrona paucirastra*). По численности в СТФЗ доминировали *Hugophum hansenii* (22%), *Lampichthys procerus* (17%), *Symbolophorus barnardi* (15%). Наиболее значительная относительная биомасса отмечалась для этих же видов: *S. barnardi* - 32%, *H. hansenii* - 11%, *L. procerus* - 19%.

В ЯВ миктофиды были представлены 9-ю тепловодно-тропическими и 7-ю умеренно-холодноводными видами. Абсолютно доминировал здесь *L. procerus* (61% по численности и 57% по биомассе). Относительно высокая численность была также отмечена для *Lampichthys intricarius* (15%).

В водах периферии вихря по сравнению с ядром видовой состав оказался существенно иным. Отмечено всего 2 тепловодно-тропических (*L. intricarius*, *L. procerus*) и 16 умеренно-холодноводных видов. Наиболее массовым в водах ПВ был *Gymnoscopelus nicholsi* (59% общей численности и 69% общей биомассы).

В ТСАВ количество тепловодно-тропических было представлено 11, а умеренно-холодноводных - 13 видами. Как и в ЯВ и СТФЗ наибольшая численность (31%) и биомасса (20%) пришлось на долю *L. procerus*.

В САПВ и АПРВ отмечено максимальное и почти равное число умеренно-холодноводных видов миктофид (19 и 20 соответственно). Характерна редкая встречаемость и крайне низкая численность тепловодно-тропических и нотально-переходных видов миктофид. В САПВ преобладал *Gymnoscopelus nicholsi* (40% численности, 43% биомассы), а в АПРВ - *Gymnoscopelus braueri* (19% численности, 34% биомассы).

Максимальное видовое разнообразие было характерно для СТФЗ, ТСАВ, САПВ и АПРВ. Соотношение перемешивающихся вод в выделенных модификациях в значительной степени определяло степень смешения фаун. Тепловодно-тропические виды составляли 72%, умеренно-холодноводные - 28%, что соответствует соотношению СТПВ и САПВ, из которых сформировано ядро вихря. В СТФЗ от субантарктической периферии к субтропической возрастало до 25% число тепловодно-тропических и уменьшалось до 15% число умеренно-

холодноводных видов миктофид. В ТСАВ и САПВ число тепловодно-тропических видов также соответствовало степени проникновения субтропических вод.

Во втором разделе главы дано описание термохалинной структуры вод на промышленном участке Патагонского шельфа и склона между 45-47° ю.ш. за пределами экономической зоны Аргентины и влияния гидрометеорологических условий на промысел аргентинского короткоперого кальмара.

В центральной, мелководной части шельфа максимальная температура на поверхности наступает в январе, на глубине 50 м - в апреле, у дна - в июне. Над материковым склоном на поверхности самый теплый месяц - январь, на горизонте 50 м - март, на горизонте 100 м - май. По мере увеличения температуры в придонных горизонтах от января к маю-июню происходит смещение промысловых скоплений кальмара из внутренних районов шельфа на его кромку и в район материкового склона. Если исходить из критерия, что граница сезонного термоклина определяется вертикальным градиентом температуры большим или равным 0.02°C/м, то первые признаки его зарождения проявляются в октябре, в ноябре происходит его активное формирование, в мае - разрушение. Наиболее отчетливо сезонный термоклин на шельфе проявляется в январе-марте, над склоном - в январе-феврале. В это время вертикальный градиент температуры в слое 30-50 м достигает 0.2°C/метр. По мере разрушения термоклина, обусловленного сезонным выхолаживанием, происходит заглубление его верхней и нижней границ.

Горизонтальная разность значений температуры и солености между станциями, выполненными в координатах 46°00' ю.ш., 60°30' з.д. и 46°00' ю.ш., 60°00' з.д. и расположенными по обе стороны от градиентной зоны (фронтального раздела между водами Фолклендского течения и водами шельфа), характеризуется значительной временной изменчивостью. В поверхностном слое температурный градиент наиболее выражен с января по май, что объясняется запаздыванием прогрета более холодных вод Фолклендского течения по сравнению с водами шельфа. На горизонте 100 м отчетливо выражена полугодовая волна с максимальными значениями температурного градиента в феврале и июне и минимальными в мае и декабре.

Изменчивость градиентов солености на поверхности характеризуется их увеличением от января к маю и от августа к октябрю, минимальные значения отмечаются в июне и августе. На горизонте 100 м полугодовая волна выражена более отчетливо: максимальных значений градиенты солености на кромке шельфа достигают в декабре-феврале, минимальных в июне-августе.

В межгодовых изменениях величин горизонтальных градиентов солености прослеживается трех-четырёхлетняя периодичность. В январе поверхностные градиенты солености превышают градиенты на горизонте 100 м, в мае, напротив, на 100-метровой глубине они выше, чем на поверхности.

Временная изменчивость горизонтальных градиентов температуры и солености на промышленном участке 45-47° ю.ш., вероятно, определяется целым рядом факторов, важнейшими из которых являются изменчивость Фолклендского течения и вынос вод из внутренних районов шельфа на его кромку, которые зависят в значительной степени от интенсивности атмосферных переносов.

При усилении западных переносов воздушных масс уловы промысловых судов повышаются, при их ослаблении или преобладании восточных переносов - уловы падают. Очевидно, усиление западных переносов приводит к выносу шельфовых вод и "обострению" градиентных зон на кромке шельфа, что, в свою очередь, сопровождается выходом кальмара на доступные промысловые участки. С другой стороны, усиление западных переносов приводит к увеличению интенсивности Фолклендского течения и, как следствие, к изменению термохалинной структуры, которая выражается в повышении температуры воды над материковым склоном, что также способствует формированию промысловых концентраций.

Наиболее отчетливо внутримесячная зависимость между интенсивностью Фолклендского течения и уловами происходит в тех случаях, когда в течение месяца наблюдается резкое изменение величин геострофических расходов: их увеличение приводит к возрастанию уловов, уменьшение - к снижению. В тех случаях, когда интенсивность течения изменяется незначительно, наблюдается отсутствие закономерностей между расходами течения и уловами.

Сравнительный анализ межгодовой изменчивости уловов аргентинского кальмара и изменчивости геострофических расходов Фолклендского течения показал, что с 1982 по 1985 г. между средними для осени расходами (этот период

лучше других обеспечен данными) и уловами наблюдается четкая зависимость - увеличению расходов Фолклендского течения соответствует повышение уловов кальмара. С 1986 по 1991 г. эта связь нарушается, что, вероятно, объясняется значительным переломом кальмара в эти годы.

Таким образом, оптимальные условия для промысла складываются при сочетании двух факторов: повышенной ТПО и увеличении интенсивности Фолклендского течения.

В заключение сформулированы **основные результаты и выводы работы:**

1. Внутригодовая изменчивость интенсивности Фолклендского течения (геострофических расходов) характеризуется полугодовой, квазитрехмесячной и полуторамесячной периодичностью. Полугодовая гармоника в изменчивости геострофических расходов Фолклендского течения достаточно хорошо согласуется по фазе с полугодовой волной в изменчивости зональных атмосферных переносов над районом ЮЗА. Максимальные среднеголетние величины геострофических расходов Фолклендского течения отмечаются в апреле и августе, минимальные - в июле и в феврале. Период наиболее высоких расходов продолжается с августа по сентябрь, пониженных - с ноября по февраль. Внутримесячная изменчивость геострофических расходов Фолклендского течения, как правило, меньше, чем сезонная и межгодовая. Передача возмущений от АЦТ в проливе Дрейка к Фолклендскому течению на 46° ю.ш. происходит с задержкой в 1-2 месяца.

2. Внутримесячная изменчивость динамики Фолклендского течения в значительной степени определяется интенсивностью атмосферных переносов воздушных масс. Меандрирование потока Фолклендского течения, которому обычно соответствуют пониженные геострофические расходы, наблюдается при ослабленных западных переносах. При усилении западных атмосферных переносов течение принимает струйный характер, геострофические расходы повышаются, приблизительно через пять суток возмущение передается к Субтропическому фронту (в районе слияния Бразильского течения и возвратной ветви Фолклендского течения), что приводит к образованию антициклонических фронтальных вихрей Бразильского течения.

3. Изменчивость термохалинной структуры вод на кромке Патагонского шельфа и над материковым склоном тесно связана с динамикой Фолклендского

течения. Усиление холодного Фолклендского течения приводит к заглублению субантарктических поверхностных вод и, как следствие, к повышению температуры воды в придонных горизонтах над материковым склоном, которое отчетливо прослеживается до 650-850 м. В противоположной ситуации, когда течение ослаблено, происходит подъем промежуточных вод и понижение температуры.

4. На восточной периферии Фолклендского течения на 46° ю.ш. круглогодично наблюдается устойчивое противотечение, которое является продолжением его возвратной ветви.

5. Три различные по своему происхождению водные массы: субтропическая поверхностная, субантарктическая поверхностная и антарктическая промежуточная формируют антициклонические фронтальные вихри Бразильского течения. Для вихрей, образующихся в летнее время, характерно наличие термоклина и подповерхностного максимума солености. Ядро вихрей, формирование которых происходит в холодное время года - практически однородная водная масса, достигающая 250-300 м. Положительная аномалия тепла вихрей по отношению к окружающим водам субантарктической структуры, сосредоточена в его верхних слоях, аномалия соли, напротив - в нижних, так как глубже 300-500 м вихри окружены антарктическими промежуточными водами пониженной солености.

6. Генерация антициклонических вихрей Бразильским течением обеспечивает перенос дополнительного количества тепла и соли в ЮЗА из субтропической широтной зоны в субантарктическую. В год осуществляется перекачка $4,7 \times 10^{21}$ Дж тепла и $3,1 \times 10^{10}$ т соли. Среднегодовой поток тепла в этом случае составляет около 15×10^{13} Вт. Этого тепла достаточно для компенсации половины всего тепла, уходящего из субантарктической зоны через полярный фронт по направлению к югу.

7. Теплые вихри Бразильского течения могут пересекать субантарктическую зону, достигать субантарктического фронта и взаимодействовать с ним. Дальнейшее движение вихрей, вероятно, происходит в восточном направлении.

8. Анализ распределения 40 видов миктофид (светящихся анчоусов) в районе ЮЗА на акватории 40°30'-47° ю.ш. и 43°-60° з.д., показал, что некоторые из них могут являться индикаторами водных масс и их модификаций. Максимальное видовое разнообразие обнаружено в водах субтропической фронтальной зоны, минимальное - в водах склона. Смещение тепловодно-тропических и умеренно-

видовое разнообразие обнаружено в водах субтропической фронтальной зоны, минимальное - в водах склона. Смещение тепловодно-тропических и умеренно-холодноводных видов миктофид находится в хорошем соответствии со степенью смещения вод различного происхождения. Взаимодействие Бразильского и Фолклендского течений, а также вынос теплолюбивых форм из субтропической зоны в субантарктическую фронтальными вихрями Бразильского течения приводит к нарушению широтной зональности в распределении как умеренно-холодноводных, так и тепловодно-тропических видов.

9. Уловы аргентинского короткопорого кальмара на промысловом участке Патагонского шельфа и склона между 45-47° ю.ш. за пределами 200-мильной экономической зоны Аргентины в значительной мере определяются изменчивостью гидрометеорологических условий. Увеличение уловов промысловых судов происходило в годы, когда ТПО превышала среднемноголетние значения. Усиление западных переносов воздушных масс и Фолклендского течения в первой половине года благоприятно влияет на возрастание уловов.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Some features of some spatial-temporal variability and WCE's formation in the Gulf Stream area from Florida to 50°w in 1975-1982// NAFO SCR Doc., 1983. - 6. - 22. - Ser. № 671. (совместно с Федуловым П.П., Щербаковской Т.М.).
2. Синоптическая изменчивость Фолклендского течения в районе Патагонского шельфа // Комплексное изучение природы Атлантического океана : Тез. докл. III обл. конференции. - Калининград, 1985. - С. 36-38 (совместно с Федуловым П.П., Полищуком И.А.).
3. Структура и динамика антициклонических фронтальных вихрей Бразильского течения // Океанология. - 1989. - Т. 29, вып. 3. - С. 389-394 (совместно с Федуловым П.П.).
4. Распределение светящихся анчоусов (Myctophidae) в Юго-Западной Атлантике // Современные проблемы промысловой океанологии: Тез. докл. VIII Всесоюз. конференции по промысловой океанологии. - Л., 1990. - С. 86-87 (совместно с Константиновой М.П., Федуловым П.П.).
5. Algunos aspectos sobre la estructura y dinamica de las aguas en la parte sudoccidental de la ciencia Argentina// Frente Marítimo, 1990. - Vol. 7. - Sec. A. - p. 95-99 (совместно с Федуловым П.П.).
6. Variabilidad de corriente de Malvinas// Frente Marítimo, 1990. - Vol. 6. - Sec. A. - p. 121-127 (совместно с Федуловым П.П., Бурькиным С.Н., Полищуком И.А.).
7. Distribution and Abundance of post-larvae and juveniles of the patagonian sprat (Sprattus

fuegensis) and related hydrographic condition// ICES Statutory Meeting, Biological Oceanography Committee C.M., 1993/L22, Ref. H. (совместно с Sanchez R.P., Madirolas A., Ciechowski J.D.).

8. Особенности распределения южно-американского шпрота в юго-западной части Патагонского шельфа // IX конф. по промысловой океанологии : Тез. докл., Калининград, 1993. - М., 1993. - С. 242. (совместно с Маклютинским Л.Г., Бирабановым А.В., Мильшико А.П.).

9. Об изменчивости Фолклендского течения и ее связи с атмосферными переносами // IX конф. по промысловой океанологии : Тез. докл., Калининград, 1993. - М., 1993. - С. 161-162 (совместно с Девильным В.В.).

10. Распределение миктофид (Myctophidae) в Юго-Западной Атлантике в зависимости от структуры и динамики вод // Вопр. ихтиологии. - 1994. - Т. 34. - № 9. - С. 336-342 (совместно с Константиновой М.П., Федуловым П.П.).

11. The time variability and structure of the Falkland Current// The South Atlantic: Present and Past Circulation. - Bremen, Simposium (Abstract). - 1994. - p. 122. (совместно с Федуловым П.П., Чернышковым П.П., Девильным В.В.).

12. Anticyclonic frontal Eddies of the Brazil Current: Dynamics and Termohaline Structure // Annales Geophysical. Part II. Hydrologe, Oceans, Atmosphere and Nonlinear Geophysics. - Supp. II to vol. 13. - (Abstract) Hamburg, 1995. - p.245 (совместно с Зезерой Е.А.).

13. Some Aspects on the Hydrology of the South-West Argentine Basin// The XXI General Assembly of the International Association for the Physical Sciences of the Oceans (Abstract) - Honolulu, Hawaii, 1995. - p. 9.

14. Предварительные результаты научно-исследовательских работ в кругосветном плавании УПС "Крузенштерн" (октябрь 1995 г. - август 1996 г.) // Международ. конф. по истории отечественной океанологии: Тез. докл. - Калининград, 1996. - С. 104 (совместно с Лаптеховским В.В.).

15. Анализ изменчивости температуры поверхности океана в районе Юго-Западной Атлантики по спутниковым картам температуры поверхности океана // X международ. конф. по промысловой океанологии: Тез. докл. - С.-Петербург, 1997. - С.43 (совместно с Девильным В.В.).

16. Внутримесячная изменчивость вертикальной структуры Фолклендского течения // X международ. конф. по промысловой океанологии: Тез. докл. - С.-Петербург, 1997. - С. 44 (совместно с Девильным В.В., Чернышковым П.П.).

17. Анализ изменчивости температуры воды в Юго-Западной Атлантике в период с 1987 по 1995 гг. // Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в 1994-1995 гг.: Сб. науч. тр. / Атлант. НИИ рыб. хоз-ва и океанологии. - Калининград, 1996. - С. 133-137 (совместно с Девильным В.В.).

Девильный