

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ
РЕВОЛЮЦИИ И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. М.В.ЛОМОНОСОВА

Географический факультет

На правах рукописи

ФИЛППКИН Борис Никонорович

УДК 551.463: 551.465

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ
ТЕРМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ДЕЯТЕЛЬНОГО СЛОЯ ОКЕАНА

II.00.08 - океанология

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
доктора географических наук

МОСКВА

1987

Работа выполнена в Институте океанологии им. П.П.Ширшова АН СССР

Официальные оппоненты:

доктор географических наук,
профессор

О. И. МАМАЕВ

доктор физико-математических наук,
профессор

А. М. ГУСЕВ

доктор географических наук,
старший научный сотрудник

В. Н. ЯКОВЛЕВ

Ведущее учреждение - Морской Гидрофизический институт

АН УССР (г. Севастополь)

Защита состоится " 25 " сентября 1968 года

в 15 час. на заседании Специализированного совета Д.053.05.30

при Московском государственном университете им. М.В.Ломоносова

Адрес: 119899, г. Москва, ПСП-3 Ленинский район МГУ Географичес-

кий факультет, р

Отзывы в двух

Ученому секретарю

С диссертацией

факультета МГУ

Автореферат ра

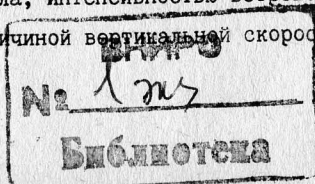
Ученый секретарь
совета, кандидат

I. Общая характеристика работы

Актуальность проблемы. Исследование пространственно-временной изменчивости термической структуры деятельного слоя океана представляет собой одну из важнейших задач современной океанологии. Эта важность определяется тесной взаимосвязью с практикой в изучении климата и развитии методов прогноза погоды на нашей планете, в обеспечении промышленного океанического рыболовства и подводного мореплавания, а также в изучении других физических полей Мирового океана, когда температура используется как важная косвенная характеристика изучаемых явлений.

Альbedo океана мало ($< 10\%$) и практически вся радиация, приходящая от Солнца и небосвода (70-80%), поглощается океаном, в основном, в поверхностном 50-метровом слое (92% падающей на поверхность океана радиации поглощается в верхнем 20-метровом слое). Отрицательный радиационный баланс атмосферы компенсируется передачей от океана скрытого тепла, содержащегося в водяном паре, и явного тепла в результате лучистого и турбулентного теплообмена. Скорость этой передачи "определяется прежде всего температурой поверхности океана, образующей тем самым, основное океаническое поле, расчет которого необходим при долгосрочном прогнозировании океана" /Монин, 1963/.

В результате динамического и термического взаимодействия оказывается, что основные пространственные и временные вариации температуры сосредоточены в верхнем, так называемом деятельном слое океана (ДСО), толщина которого определяется амплитудой годового потока тепла, интенсивностью ветрового перемешивания, а также знаком и величиной вертикальной скорости движения вод на его



нижней границе. В деятельном слое океана наблюдается специфическая вертикальная структура: верхний квазиоднородный слой (ВКС), слой скачка или сезонный термоклин (СТ) и слой, в котором температура уменьшается до своего почти постоянного среднегодового значения. Сезонный термоклин очень резко выражен в умеренных широтах в теплую половину года. Зимой в высоких и умеренных широтах термоклин разрушается, тогда как в тропических широтах он наблюдается круглый год /Филошкин, 1968/.

Многообразие термогидродинамических процессов в океане обуславливает изменчивость гидрофизических полей в широком диапазоне пространственно-временных масштабов. Выделяются три основные области притока энергии /Озмидов, 1965/ с характерными пространственными масштабами $L_1 \sim 10^6$ м, $L_2 \sim 10^4$ м и $L_3 \sim 10^1$ м. Им соответствуют временные масштабы от 10 лет до 1 сек. Если учесть, что в реальном океане процессы различных масштабов развиваются в тесном взаимодействии и взаимообусловленности, то флуктуации крупномасштабных систем океанских течений, синоптические вихри, внутренние волны и тонкая структура гидрологических полей являются звеньями единой цепи каскадной передачи энергии. Это и предопределяет необходимость общего подхода к изучению явлений различных масштабов, определяющих закономерности формирования пространственно-временной изменчивости поля температуры. Изучение деятельного слоя океана необходимо при построении моделей взаимодействия океана и атмосферы, в улучшении долгосрочных прогнозов погоды, изучении акустики океана, первичной продукции, осадконакопления и в спутниковой океанологии. Поэтому адекватное описание термической структуры в океане необходимо как для решения большинства фундаментальных проблем

современной океанологии, так и для решения ряда прикладных задач.

Свидетельством актуальности данной проблемы служит появление большого числа научных публикаций, в том числе и монографий, посвященных различным аспектам физики явления, моделированию и прогнозу характеристик верхнего слоя океана: С.А.Китайгородский (1970), Е.Краус (1976), В.И.Калацкий (1978), А.А.Пивоваров (1979), М.Г.Глаголева и Л.И.Скриптунова (1979), О.Филлипс (1969, 1980) и Ю.П.Доронин (1981), Ю.А.Иванов (1981).

Цели и задачи работы. Несмотря на значительный интерес к проблеме и большое число публикаций, обобщение экспериментальных наблюдений данного явления для значительных акваторий Мирового океана в различных временных масштабах все еще отсутствует.

Данная работа посвящена исследованию пространственно-временной изменчивости термической структуры деятельного слоя океана и ее основными целями являлись:

- определение характеристик деятельного слоя океана в широком диапазоне пространственно-временных масштабов (временная изменчивость в сезонном, синоптическом масштабах и диапазоне внутренних гравитационных волн) для Тихого, Индийского и характерных районов Атлантического океанов;

- обобщение экспериментальных наблюдений, обоснование основ географического районирования и установлении эмпирических зависимостей между характеристиками ДСО и определяющими параметрами с целью адекватного описания характера распределения температуры в океане.

Для достижения поставленных целей было необходимо, в первую очередь, рассмотреть следующие задачи:

- получение достоверных эмпирических данных о термической

структуре ДСО во всех исследуемых масштабах;

- выбор и статистическая оценка критериев для выделения характеристик ДСО;
- анализ крупномасштабной пространственно-временной изменчивости характеристик ДСО в Тихом и Индийском океанах;
- анализ синоптической изменчивости характеристик ДСО в характерных районах океана;
- исследование термической структуры ДСО в диапазоне внутренних гравитационных волн и выявление механизмов генерации микроструктуры поля температуры в СТ;
- исследование роли ветра, волнения и циркуляций Ленгмюра в эволюции термической структуры ВКС;
- обоснование автомодельности вертикального распределения температуры в океане;
- построение модели сезонной изменчивости и проверка применимости интегральных моделей расчета характеристик ДСО в различных районах Мирового океана.

Основные научные результаты. Работа представляет собой комплексное исследование процессов формирования структур термического поля деятельного слоя океана. Исследование основано на обобщении имеющихся и полученных автором в многочисленных специализированных экспедициях данных измерений характеристик верхнего слоя. применении современных и предложенных автором методов обработки и анализа материалов.

Основные научные результаты диссертации:

I. На основе банка гидрологических данных и разработанной автором специальной методики установлена пространственная и сезонная изменчивость основных характеристик деятельного слоя

для Тихого и Индийского океанов и проведено районирование по этим характеристикам.

2. Синоптическая изменчивость исследована по данным полигонных наблюдений. Установлена связь основных характеристик деятельного слоя океана с динамикой синоптических вихрей для 4 сезонов года. Получены временные и пространственные масштабы синоптических возмущений.

3. На основе детального статистического анализа получены общие закономерности временной изменчивости распределения энергии внутренних волн по частотам в типичных районах Мирового океана. На основе совместного анализа средних гидрологических условий и возмущений установлены связи интегральных параметров внутренних волн и средних характеристик среды.

4. На основе специализированных экспериментов исследована эволюция поля температуры под действием ветра. В результате анализа установлено, что усиление ветра приводит к возникновению инверсионных слоев по температуре в сезонном термоклине и деформации спектров флуктуаций температуры (возникновение и перемещение пиков по спектру).

5. В рамках теории подобия установлены эмпирические зависимости характеристик деятельного слоя океана от определяющих параметров (скорости ветра, потока тепла, стратификации и параметра Кориолиса) и показана адекватность расчетов реальным наблюдениям для ряда районов океана.

6. По данным длительных рядов наблюдений проведена апробация моделей, разработанных в Институте океанологии при участии автора. В результате установлено, что использованные модели хорошо отражают реальную картину для открытых районов океанов, не подверженных воздействию адвекции тепла течениями.

7. Разработана и внедрена в практику экспедиционных исследований методика наблюдений над основными характеристиками пограничных слоев атмосферы и океана с помощью стабилизированной по вертикали вежи Фруда, позволяющей исключить влияние судна, а также методика исследования пространственных характеристик поля внутренних волн на океанических полигонах.

Научная новизна исследований. Результаты диссертации существенно углубляют и расширяют знания о структуре и процессах формирования деятельного слоя в Мировом океане. Впервые для Тихого океана для двух характерных месяцев (августа и февраля) получены карты пространственной изменчивости основных характеристик СТ, проведено сравнение с подобными картами характеристик сезонного пикноклина и показана роль температуры в формировании плотностной стратификации верхнего слоя океана. На основе анализа этих карт проведено районирование Тихого океана. В различных районах всех океанов исследована сезонная изменчивость характеристик ДСО. Оказалось, что изменение характеристик СТ для значительных районов океана связано с динамикой вод. Особенно это важно для тропических и экваториальных районов всех океанов, когда по топографии верхней границы СТ удается восстановить качественную схему течений.

Сведения об изменчивости термической структуры ДСО в синоптическом и масштабе внутренних волн, полученные в экспедициях ИОАН СССР и обобщенные в диссертации, как правило, являются уникальными, так как впервые для многих районов океана были выполнены наблюдения по специальным программам, отличающиеся необходимой полнотой и видами измерений. Значительная часть этих работ не имеет аналогов как в отечественной, так и зарубежной практике океанологических исследований.

Предложенная в работе методика картирования основных характеристик ДСО по данным температурных съемок на полигонах показала возможность идентификации положения и вида синоптических вихрей.

Исследование поля температуры в масштабе внутренних волн впервые показали характер пространственного изменения поля внутренних волн (изотропность и анизотропность) и в сезонном термоклине по глубине. В то же время был подтвержден универсальный закон спадающих пространственных и временных спектров температуры в СТ в различных районах Мирового океана.

Были развиты оригинальные экспериментальные методы исследования по изучению взаимодействия пограничных слоев атмосферы и океана с помощью стабилизированных по вертикали буев с исключением влияния судна, что позволило оценить роль поверхностного волнения и ветра на изменение термической структуры ДСО. Впервые экспериментально была получена временная эволюция спектров температуры в СТ и характер передачи энергии по спектру в условиях развивающегося волнения. В диссертации приводится прямое экспериментальное свидетельство образования температурных инверсий в СТ.

В работе предложено автомоделное описание профиля температуры в ДСО и впервые показана общность этого явления для различных районов Мирового океана. Установление этого факта послужило основой для создания теоретической модели сезонной эволюции термоклина в океане. Проведенные по моделям расчеты для различных широтных зон океана показали адекватность расчетных характеристик наблюдаемым.

Практическая значимость работы. Итогом выполненной работы является теоретическое обобщение и решение крупной научной проб-

лены в исследовании термической структуры деятельного слоя океана в широком диапазоне пространственно-временных масштабов, имеющего важное народно-хозяйственное направление. Основные выводы и положения диссертации имеют фундаментальное значение для понимания процессов перемешивания и энергообмена между океаном и атмосферой для различных районов Мирового океана. Полученные результаты необходимо учитывать как для модельных расчетов глобальной циркуляции океана и атмосферы, так и для практического оперативного прогноза. Некоторые из основных результатов автора использованы при написании монографии ("Гидрология Тихого океана", "Взаимодействие океана и атмосферы" С.А.Китайгородского и др.) и при составлении атласа ПОЛИМОДЕ. Опубликованные впервые автором карты характеристик термической структуры деятельного слоя для Тихого океана используются различными исследователями при изучении биологической продуктивности, распределения планктона и нектона, при анализе географического распространения и накопления осадков на дне океана, а также при решении прикладных задач.

Предложенная в работе методика выделения слоев наибольших градиентов была использована при изучении северной части Атлантического океана (АО ИОАН, АтланНИРО).

Обоснованность научных положений и выводов. В работе использованы опубликованные данные глубоководных исследований по Тихому, Индийскому и Атлантическому океанам, данные кораблей погоды, а также результаты измерения внутренних волн, тонкой структуры гидрофизических полей в деятельном слое океана, выполненных с участием и в большинстве случаев под руководством автора в 15 экспедициях на судах Института океанологии АН СССР за период с 1963 по 1984 гг. (в 29, 35 рейсах нис "Витязь", 1, 9 и 35 рей-

сах нис "Академик Курчатов", 2, 7, 12 и 32 рейсах нис "Дмитрий Менделеев", 10, 13 и 15 рейсах нис "Академик С.Вавилов" и 6, 8 и 12 рейсах нис "Академик Л.Орбели"). Обоснованность научных положений диссертации базируется, прежде всего, на большом объеме проанализированных экспериментальных данных по изменчивости гидрофизических полей в деятельном слое океана в диапазоне временных масштабов от года до десятков секунд в различных районах Мирового океана. Репрезентативность этих данных обусловлена как тщательным анализом при их обработке и метрологическим контролем использовавшихся измерительных средств при наблюдении в море, так и соответствующим выбором районов, видов и продолжительностью целенаправленных экспериментов. Достоверность полученных результатов обеспечивалась также применением методик измерений, отвечающих задачам проводившихся исследований, и использованием современных методов статистической обработки натуральных данных с оценкой доверительных интервалов расчетных характеристик.

Публикации результатов и личный вклад автора. Автор принимал участие в написании монографии "Гидрология Тихого океана", составлении Каталога гидрологических данных, легшего в основу картирования пространственно-временной изменчивости гидрофизических полей океана. Автором диссертации были предложены и внедрены в практику приемы статистической обработки и выделения основных характеристик деятельного слоя океана. Автор принимал непосредственное участие в планировании и проведении натуральных экспериментов, будучи начальником отряда, заместителем и начальником экспедиций; им были внесены многочисленные предложения по усовершенствованию методики заборных работ и реализации их на практике. Автором был собран, обработан, проанализирован и обобщен большой объем экспериментальных данных, собранных при его

участии в 15 океанских экспедициях в Тихом, Индийском и Атлантическом океанах. Коллективный характер проводившихся исследований обусловил публикацию части полученных результатов в соавторстве с коллегами по работе. В большинстве работ научные идеи, составившие основу диссертации, принадлежат автору. По теме диссертации опубликовано 45 научных работ.

Апробация работы. Результаты работы докладывались автором диссертации на Советско-французском Симпозиуме по внутренним волнам (Новосибирск, 1971), на семинарах Института океанографических наук в ВОРМЛИ и Департамента прикладной математики и теоретической физики в Кембридже (Англия, 1972), на Международном симпозиуме по исследованиям турбулентности и процессов диффузии примесей в море (Москва, 1976), на заседании рабочей группы ИНЕСКО по изучению северо-западной части Индийского океана (Найроби, Кения, 1976), на летнем институте ПОЛИМОДЕ (Вудс-Холл, США, 1976), на Советско-американском симпозиуме по внутренним волнам (Новосибирск, 1976), на I съезде советских океанологов (Москва, 1977), на Всесоюзной школе по геологии (Геленджик, 1978), на конференции по результатам международного эксперимента "Камчия-77" (Варна, Болгария, 1979), на XIV Тихоокеанском научном конгрессе (Хабаровск, 1979), на научной сессии Отделения океанологии, физики атмосферы и географии АН СССР (Москва, 1980), на Всесоюзном семинаре-симпозиуме "Тонкая структура и синоптическая изменчивость морей" (Таллин, 1980), на Втором Всесоюзном съезде океанологов (Ялта, 1982), а также на семинарах и коллоквиумах различных научных учреждений, занимающихся исследованиями Мирового океана, в частности на семинарах лабораторий морской турбулентности, физики взаимодействия океана и атмосферы, гидрологических процессов и Теоретического отдела Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР.

II. Содержание работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы.

Во введении рассмотрена актуальность проблемы, сформулированы основные задачи исследования, показана его научная новизна и практическая ценность.

Глава I. Крупномасштабная пространственная и сезонная изменчивость термохалинной структуры деятельного слоя Мирового океана.

В этой главе на основе данных глубоководных наблюдений для Тихого и Индийского океанов для двух характерных сезонов (лето, зима) проанализированы основные особенности пространственной изменчивости характеристик термической структуры деятельного слоя океана. По данным кораблей погоды, массивам батитермографных и гидрологических наблюдений и материалам специальных гидрофизических полигонов для отдельных районов Мирового океана исследованы сезонные колебания характеристик термической структуры верхнего слоя.

В § I.1 дано описание закономерностей вертикальной структуры основных гидрофизических параметров и на их фоне рассматривались более подробно особенности профиля температуры в деятельном слое океана. В качестве основных характеристик термической структуры ДСО приняты: H_0 - толщина ВКС, совпадающая в ряде случаев с верхней границей сезонного термоклина (H_c); T_0 - температура ВКС; dT/dz - величина максимального вертикального градиента в СТ; H_H - глубина нижней границы СТ и T_H - температура на нижней границе СТ.

Пространственная изменчивость основных характеристик дея-

тельного слоя для Тихого и Индийского океанов исследована по банкам гидрологических глубоководных данных, собранных в Институте океанологии (Добровольский и др., 1962, Щербинин, 1976).

Эти банки в процессе работы непрерывно пополнялись дополнительными данными и последние варианты карт пространственной изменчивости термических характеристик для Тихого океана (Филюшкин, 1983) были уточнены включением данных до 1976 г. В качестве временного масштаба осреднения был принят месяц, а единица пространственного осреднения по площади выбиралась в зависимости от гидрологических условий и количества наблюдений: одноградусные трапеции для умеренных широт и трапеции 1° по широте и 5° по долготе для тропиков. Макет пространственного осреднения для северной половины Тихого океана был разработан Бурковым (1964).

Исследование сезонной изменчивости характеристик верхнего слоя океана проведено с привлечением данных всех судов погоды в Тихом и Атлантическом океанах. Кроме того, использованы данные батитермографных массивов для восточной части Тихого океана обеих полушарий и 14 месячные наблюдения в период эксперимента ПОЛИМОДЕ в Атлантическом океане. Для Индийского океана были привлечены гидрологические материалы, осредненные для трапеций $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ за период с 1895 г. по 1974 г. (Обнинск, 1981), по которым были выбраны квадраты с данными для всех 12 месяцев.

В § 1.2 рассмотрены принципы выделения основных характеристик термической структуры деятельного слоя океана по глубоководным гидрологическим наблюдениям, полученным различными приборами. В настоящее время существует многочисленная литература, посвященная методам восстановления и анализа вертикальных профилей гидрофизических характеристик (Белкин, 1981, Кузнецов, 1984). Одна-

ко, по сути дела большинство последних работ явилось проверкой и оптимизацией методик, сформулированных в работах Бреховских и др. (1960), Тренина (1961) и Аратской и Филюшкина (1963). В данной работе предложена методика выделения основных характеристик термической структуры ДСО, опробованная автором при обработке массива данных эксперимента ПОЛИМОДЕ (Белкин, Филюшкин, 1986). Толщина верхнего квазиоднородного слоя определялась двумя способами: 1) по излому профиля температуры (точка максимальной кривизны); 2) по среднему градиенту (меньше $0,01^{\circ}$ с/м). Как правило, оба метода давали очень близкие значения, отличающиеся не более чем на 5 м. В качестве температуры ВКС принималась температура на его нижней границе поскольку эта величина более устойчива по сравнению с температурой поверхности океана (ТПО). Нижняя граница сезонного термоклина (СТ) определялась также, как и граница ВКС двумя способами.

В § 1.3 проанализирована пространственная изменчивость характеристик деятельного слоя Тихого океана на основе карт положения верхней границы сезонного термоклина, его толщины, топографии нижней границы слоя максимальных вертикальных градиентов температуры и самих градиентов в СТ для августа и февраля. Для августа приведены подобные карты, отражающие особенности стратификации плотности в верхнем слое океана (Филюшкин, 1968, 1983).

Отмечено совпадение порядка величин отдельных характеристик ДСО для центральных районов океана, полученных для больших пространственных и временных масштабов осреднения (Муромцев, 1958; Степанов и др. 1980, 1981). Показано, что пространственное изменение характеристик ДСО в Тихом океане заметно коррелирует с основными динамическими круговоротами (Бурков, 1968).

Выделяется 4 основных зоны: 1) Субарктическая зона (от 48° с.ш. до 30° с.ш.), которая летом характеризуется резко выраженным СТ толщиной 25 м (градиент около $0,2^{\circ}$ с/м), близко расположенным к поверхности. Зимой в этой зоне СТ разрушается, и наблюдается остаточный слабо выраженный термоклин с градиентами порядка $0,02-0,03^{\circ}$ с/м на глубинах 150-200 м. 2) Субтропическая зона характеризуется увеличением глубин ВКС до 100 м и уменьшением вертикальных градиентов с приближением к экватору. Зимой ее граница совпадает с областью разрушения термоклина. 3) Тропическая зона выделяется резким заглублением СТ (до 250 м) и совпадает с областью минимальных значений вертикальных градиентов температуры. Зимой она увеличивает свою площадь, несколько смещаясь к северу, причем ее отклонение от широтного положения увеличивается. 4) Экваториальная зона делится на две части - западную и восточную. Западная представляет собой широтную область (до 160° з.д.) с глубиной СТ до 100 м. В восточной части наблюдается подъем СТ к поверхности и увеличение вертикальных градиентов.

Все указанные закономерности относятся к открытым районам океана, тогда как в прибрежных районах все основные характеристики ДСО претерпевают заметное отклонение от общего изменения по широте. Именно поэтому были выделены дополнительные области, отличающиеся по характеру изменения СТ и совпавшие с поздние определенными энергоактивными зонами (Лаппо и др., 1964): области Аляскинского течения, Калифорнийского течения, Курошио и Ойясио. Для южной половины Тихого океана, в силу ограниченности материала подобного рода, районирование не представляется обоснованным. Изолинии характеристик пока еще надо рассматривать как первое приближение.

В § 1.4 исследована пространственная изменчивость характеристик ДСО в Индийском океане. Для анализа использовались карты, подобные картам для Тихого океана, построенные по массиву гидрологических данных, собранных в Институте океанологии (Щербинин, 1976). Наиболее изученным регионом является его северная половина, примерно от 20° с.ш. В исследуемом районе наблюдается муссонный характер циркуляции. Учитывая опыт построения осредненных карт течений (Дринг, 1970; Нейман, 1970) были использованы средние данные по температуре и плотности для трех месяцев: лето - (июнь-сентябрь), зима - (январь-март).

Сравнение топографии верхней границы СТ с геострофической циркуляцией (Нейман, 1970) показывает, что поле температуры в целом отражает основные особенности циркуляции. Полученные карты дают более полную и детальную информацию по сравнению с ранее опубликованными картами (Муромцев, 1959; Виртки, 1971) в основном за счет увеличения числа наблюдений.

Совместный анализ карт разных характеристик термической структуры ДСО также позволяет наметить определенные области по характеру изменения этих свойств. Выделяются две области в северной части океана, определяемые в основном географией района: область Аравийского моря и область Бенгальского залива, характерные существованием региональных круговоротов разных знаков для лета и зимы. Это и определяет перестройку поля температуры в этих областях.

На картах топографии СТ для лета выделяется область Сомалийского течения, причем характер изолиний и наклон топографии границы раздела четко соответствуют северо-восточному направлению течения. Сомалийское течение подвержено значительным сезонным колебаниям: зимой оно выражено слабее и имеет противополож-

ное направление. Однако малое число наблюдений не позволяет по термическим характеристикам уверенно проследить это течение зимой.

По аналогии с другими океанами, наиболее четко здесь также выделяется экваториальная область. Однако сравнение топографии толщины ВКС и верхней границы СТ показывает их некоторое отличие. Это, вероятно, определяется тем, что в системе экваториальных течений максимальные вертикальные градиенты температуры связаны с границами основных потоков, тогда как толщина ВКС отражает процессы, происходящие на поверхности океана. Анализ толщины ВКС в этом океане показывает определенное отличие от других океанов: так в восточной части экваториальной области наблюдается заглупление СТ, тогда как в Тихом и Атлантическом океанах в этом районе наблюдается выклинивание его к поверхности. В то же время характер изменения градиентов температуры в восточной части океана не отличается, например, от Тихого океана: здесь также наблюдаются наибольшие градиенты и летом и зимой. В заключение проведен анализ пространственной изменчивости СТ для отдельных районов по данным отдельных экспедиций: для экватора (Корт, 1977) и восточной части океана (Нейман, Филишкин, Щербинин, 1966).

В работе для полноты картины анализа пространственной изменчивости в § 1.5 приведены аналогичные карты термических характеристик для Атлантического океана, построенные Зубиным (1978) по нашей методике, и карты Кузнецова (1962). Подтверждаются общие закономерности широтной изменчивости термических характеристик для основных сезонов.

Уже из анализа пространственной изменчивости характеристик СТ для двух сезонов заметны существенные сезонные изменения для больших областей. Однако, как уже показано в § 1.1, количество

материалов для исследования сезонной изменчивости в океане весьма ограничено и качество наблюдений далеко от желаемого.

В § 1.6 рассмотрены все районы, для которых можно определить среднемесячные величины характеристик ДСО для всего года. В качестве района, наиболее обеспеченного данными рассмотрен район эксперимента ПОЛИМОДЕ. Для анализа были отобраны только данные зондирования в пределах трапеции $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ с центром 29° с.ш. и 70° з.д. Проведенные оценки пространственных градиентов температуры подтвердили корректность выбранного пространственного масштаба осреднения. В общей сложности проанализировано 540 станций. Значения всех характеристик термической структуры ДСО определялись по индивидуальным вертикальным профилям.

По характеру их изменчивости в течение года можно выделить три режима: 1) летний стационарный режим (июль-сентябрь), при котором поступающее сверху тепло расходуется на рост толщины ВКС с 10 до 35 м и увеличение его температуры; 2) осенне-зимний режим конвективного охлаждения (октябрь-февраль), когда линейное падение температуры ВКС от 28 до 19°C сопровождается нелинейным ростом толщины ВКС от 35 до 180 м; 3) весенний режим прогрева (март-июнь), характеризующийся линейным ростом температуры ВКС от 19 до 27°C и убыванием толщины ВКС, происходящим в два этапа: сначала почти скачкообразное "обмеление" ВКС с 180 до 25-50 м, а затем постепенное уменьшение его до 10 м. Обращает на себя внимание резкая асимметрия годового хода и, в особенности, быстрая формирования весной нового ВКС и соответственно СТ.

Максимальный градиент СТ обладает выраженным сезонным ходом, принимая наибольшие значения в июле-сентябре (до $0,6-1,5^{\circ}$ с/м), наименьшие в январе-марте (порядка $0,1^{\circ}$ с/м). Глубина нижней границы СТ и температуры на ней также обладают заметным сезонным хо-

дом. Однако осенне-зимнее заглубление СТ с 150 до 250 м не коррелирует с поведением температуры на нижней границе, среднее значение которой на протяжении полугодия (август-январь) остается почти постоянным (18,7-18,9°C). Сравнение результатов по толщине ВКС с данными других авторов обнаруживает расхождения. Поэтому графики годового хода, построенные по материалам гидрологических массивов, можно рассматривать как приближенную среднюю картину.

Для северного полушария Атлантического и Тихого океанов широтное изменение термических характеристик ДСО удалось проследить практически для всех судов погоды. Были выделены характерные режимы изменчивости для высоких, умеренных и низких широт. В тропических и экваториальных широтах амплитуда сезонных колебаний значительно уменьшается, что в основном определяется изменением крупномасштабных течений в этих районах.

Данные для южного полушария крайне ограничены и имеются только в Тихом и Индийском океанах. Для умеренных широт южного полушария сезонная изменчивость характеристик близка к изменчивости умеренных широт северной половины Тихого океана.

Общие закономерности распределения характеристик термической структуры ДСО в Мировом океане и основы районирования по характеру их сезонной изменчивости рассмотрены в § 1.7. Проведенный анализ показал, что профиль температуры (плотности) является интегральной характеристикой, отражающей довольно полно основные динамические процессы в океане. Районирование, выполненное по типу изменения профиля температуры, позволяет выделить области, где особенно велика роль горизонтальной адвекции, зимней конвекции, что подтверждается модельными расчетами этих параметров (Залеский, Мохонкин, 1985; Булгаков, 1961).

Предложенный метод гидрологического районирования (Филошкин, 1983) является определенным развитием предложенных ранее (Муромцев, 1951; Радаиховская, Леонтьева, 1968; Мамаев, 1970; Лебедев, Добровольский, Марков, 1981; Степанов и др., 1981). Во-первых, здесь реализуется возможность использования банков гидрологических данных с необходимым пространственным и временным масштабами осреднения и применения заранее определенных критериев определения характеристик ДСО. Во-вторых, выявление границ пространственных зон можно проводить одновременно по нескольким показателям, что заметно повышает надежность построений. И, наконец, районирование, проведенное по изменению вертикальной стратификации по характерным точкам, позволяет выделить более обоснованно типовые профили температуры и плотности, что в свою очередь позволяет использовать их в модельных расчетах глобального взаимодействия океана и атмосферы.

Глава 2. Синоптическая изменчивость термической структуры деятельного слоя океана.

По данным экспериментальных исследований дана характеристика синоптической изменчивости поля температуры в верхнем слое океана. Под синоптической изменчивостью понимаются возмущения гидрофизических полей, имеющих временные масштабы порядка месяца и пространственные - порядка 100 км (Монин и др., 1974).

В § 2.1 кратко рассмотрены предшествующие работы по временной изменчивости основных характеристик деятельного слоя океана для Тихого океана (Халберн, 1974) и Атлантического океана (Иванов, Тужилкин, 1979). Для анализа использовались стандартные наблюдения на судах погоды, которые позволили построить временные спектры для некоторых характеристик СТ. На них отмечены энергонесущие зоны на периодах 10-13 суток, а для толщины ВКС и его температуры

дополнительно выделялся период 7-9 суток.

Анализ данных судов погоды показывает, что они обладают серьезными недостатками: отсутствие регулярных длительных наблюдений по широкому комплексу параметров, не соблюдается постоянная дискретность наблюдений по времени и нет возможности оценить относительный вклад высокочастотных процессов на изменчивость синоптических масштабов.

Приведено описание результатов работ на специальном полигоне, выполненного при участии автора в северной части Атлантического океана. На этом полигоне в течение 20 суток были проведены наряду со стандартными метеорологическими наблюдениями прямые измерения потоков тепла, инструментальные измерения ветрового волнения, с помощью распределенного датчика велась регистрация флуктуаций температуры в СТ с дискретностью 40 сек. В течение всего полигона велись регулярные зондирования ДСО до глубины 250 м с периодичностью 5 зондирований в сутки и с двумя периодами интенсивных наблюдений - с дискретностью 2 часа в течение двух суток (Филошкин, 1962).

Для изучения пространственной изменчивости характеристик термической структуры деятельного слоя океана использовались гидрологические съемки, проводимые одновременно несколькими судами в районе эксперимента ПОЛИМОДЕ. Эти съемки выполнялись для квадрата $6^{\circ} \times 6^{\circ}$, время работы не превышало 10-15 суток, с тем чтобы съемка была проведена в единых синоптических условиях. Анализу было подвергнуто 20 таких съемок.

Исследования последних лет показали, что вихри самых разных масштабов, укладывающиеся в диапазон синоптической изменчивости, наблюдаются во всех районах Мирового океана (Каменкович и др., 1962). Но необходимо отметить, что гидрофизические поля деятель-

ного приповерхностного слоя океана непосредственно реагирует на атмосферные воздействия, поэтому следует ожидать, что временные масштабы для этого слоя ближе к масштабам синоптической изменчивости в атмосфере (Филошкин, 1968). Такая реакция верхнего слоя океана на воздействие атмосферы подтверждается также анализом экспериментальных данных полигонов северной части Атлантического океана, приведенных в § 2.2. Показано, как при ослаблении ветра и продолжающемся прогреве океана в однородном слое образуется новый приповерхностный синоптический термоклон, толщина которого и градиенты в нем со временем растут, и формируется система 3-х слойной жидкости с двумя границами раздела - синоптическим и сезонным термоклинами. В дальнейшем, при усилении ветра, происходит образование единого, более мощного и с большим перепадом температуры внутри термоклина. Именно таким образом происходит выклинивание СТ к поверхности океана в период весенне-летнего прогрева. Этот факт хорошо известен по данным о сезонном ходе основных характеристик СТ (см. § 1.6). На основе прямых измерений колебаний температуры в диапазоне внутренних волн показано, что амплитуда внутренних волн достигает 8 м. Если учесть, что максимальная амплитуда колебаний толщины ВКС во время всего эксперимента достигала порядка 25 м, то ясно, что влияние внутренних волн на изменчивость термической структуры ДСО довольно велико.

Рассмотрен характер связи временной эволюции характеристик верхнего слоя со скоростью ветра и потоком тепла. Показана квазисинхронная связь скорости ветра и образования временных (синоптических) слоев скачка температуры в приповерхностном однородном слое. По этим данным была подтверждена зависимость между величиной вертикального градиента температуры и толщиной термоклина (Филошкин, 1968). Установленные закономерности носят общий харак-

тер, подтверждаются данными полигонов в Тихом океане и результатами анализа данных судна погоды "Е" в Атлантическом океане (Тужилкин, 1983).

Пространственная изменчивость основных характеристик ДСО исследовалась по материалам эксперимента ПОЛИМОДЕ в § 2.3. Проанализированы все температурные съемки в период этого эксперимента и окончательно выбраны 5 съемок, равномерно распределенных по времени в течение года и отражающих различные стадии сезонной изменчивости ДСО (Белкин, Филошкин, 1986). Значения характеристик ДСО определялись для каждой станции по кривым вертикального изменения температуры и ее вертикального градиента. Продолжительность съемок составляла от 5 до 13 дней, и ее можно считать близкой к оптимальной, так как она короче временного масштаба синоптических возмущений (Реснянский, 1984). Полученные карты хорошо отражают сезонный ход всех характеристик (§ 1.6), и в то же время, в пределах одной съемки наблюдается их значительная пространственная изменчивость. Такие колебания границ СТ нельзя объяснить действием внутренних волн. Вероятно, это объясняется реакцией СТ на прохождение синоптических вихрей через район съемки. Подтверждением этому служит характер изменения по вертикали доступной потенциальной энергии, когда ее максимум почти одного порядка отмечается в сезонном и главном термоклинах (Коротаев и др., 1976), а также хорошая корреляция картин вихрей для одного момента времени на различных горизонтах (Кошляков и др., 1980).

Для совместного анализа были использованы карты топографии H_0 , H_N , изотермы 19°C , температуры ВКС, величины максимального градиента температуры и карты изолиний тока с нанесенными на них векторами течений по инструментальным наблюдениям. В качестве материала сравнения брались карты течений, построенные по средне-

суточным данным, как правило, для среднего момента съемки. В то же время анализ карт за все дни съемки показал, что положение синоптических вихрей менялось незначительно, так как скорость перемещения вихрей не превышала 4-7 км/сутки (Корт и др., 1981).

Анализ пространственной изменчивости основных характеристик ДСО в различные сезоны позволил отметить некоторые особенности их распределения в связи с динамикой вод района. В период слабо выраженного СТ, когда вертикальные градиенты температуры малы (зимой и весной), топография H_0 плохо отражает динамическую картину района. При больших вертикальных градиентах температуры (летом и осенью) и даже малой толщине ВКС, как правило, весь слой СТ подвергается воздействию проходящих вихрей. Именно поэтому топография H_N во все сезоны лучше отражает динамику вод района.

Важным индикатором вертикальных движений является толщина СТ: при подъеме вод в центре циклона его толщина всегда меньше, чем при опускании вод в центре антициклона. Так, по оценкам, выполненным по данным 5 съемок, толщина СТ в циклоне колеблется от 60 до 100 м, а в антициклоне от 100 до 160 м, что также позволяет приблизительно идентифицировать положение и тип синоптических вихрей.

Весьма характерно распределение температуры ВКС при прохождении синоптических вихрей. В летне-осенний период, когда в районе полигона температура меняется всего на 1°C , при значительных вертикальных градиентах в СТ положение циклонов и антициклонов совпадало, соответственно, с областями минимальных и максимальных значений температуры ВКС.

С конца осени до конца весны в районе полигона возрастает разность температуры между его северной и южной границами до $3-5^\circ\text{C}$, и динамическая активность проявляется еще и в характерном изменении широтного положения изотерм: на периферии вихрей возни-

кают языки более холодных и теплых вод, происходит увеличение горизонтальных градиентов температуры, характерное для фронтальных синоптических разделов.

Проведенный совместный анализ пространственной изменчивости определяющих характеристик ДСО и изменчивости течений, полученных инструментальными методами, показывает существование качественной корреляции между этими величинами. Это позволяет сделать вывод, что синоптические вихри можно уверенно идентифицировать по данным температурных съемок в верхнем слое океана. Последнее обстоятельство, помимо чисто научного значения, крайне важно и при проведении рекогносцировочных работ в новых районах, поскольку позволяет увеличить площадь исследуемой акватории при существенном сокращении времени съемки.

Глава 3. Пространственно-временная изменчивость температуры в деятельном слое океана в масштабе внутренних гравитационных волн.

Фактические данные об изменчивости температуры в деятельном слое океана в диапазоне частот внутренних волн, полученные автором в 10 рейсах судов ИОАН в различных районах Мирового океана, проанализированы в третьей главе диссертации.

В § 3.1 рассмотрены применяемые в настоящее время методы наблюдений флуктуаций температуры воды в деятельном слое океана. Наибольшее развитие в ИОАН получили исследования изменчивости гидрофизических полей океанов на полигонах в широком диапазоне временных масштабов: от синоптического до масштабов турбулентности. Поэтому при исследовании мелкомасштабной турбулентности мезомасштабные флуктуации рассматривались как фоновые и проводились на всех гидрофизических полигонах (Озмидов, 1971). В основном измерения проводились в режиме буксировки гирлянд термистеров за судном (Пака, 1964), постановок закоренных буйковых станций

с измерителями скорости течений и температуры воды и изучение вертикальной структуры океана с помощью различных зондов. В начальной стадии реализации программ исследований особое внимание было обращено на отработку методики всего комплекса измерений: необходимый набор одновременно измеряемых характеристик, точность, дискретность и длительность измерений, пространственное положение буйковых станций и разрезов.

При непосредственном участии автора была разработана специальная методика для проведения наблюдений в пограничных слоях океана и атмосферы. Была разработана система открытого моря, состоящая из свободноплавающего и стабилизированного по вертикали буй (типа вежи Фруда), датчиков, закрепленных на нем, магистрального кабеля, соединяющего буй с кораблем и регистрирующей аппаратурой, установленной на судне. Преимущество методики проведения таких наблюдений очевидно: датчики располагаются на многих горизонтах в пограничных слоях океана и атмосферы вплоть до самой границы раздела, т.е. можно регистрировать ветровое волнение, скорость ветра в приводном слое и флуктуации температуры и скорости в деятельном слое моря в условиях, исключающих влияние судна. Указанная методика наблюдений нашла применение в практике экспедиционных исследований ИОАН, ИФА. Рассмотрены пространственные характеристики изменчивости температуры с помощью установки системы закоренных гирлянд термистеров и возможности использования обитаемых платформ в прибрежных районах Черного и Каспийского морей (Иванов и др., 1969; Кожелупова, Филюшкин, 1977).

В ходе выполнения исследований накоплен большой опыт одно-временной регистрации температуры на многих горизонтах с определяющими внешними параметрами и расчета статистических харак-

теристик мезомасштабных флуктуаций гидрофизических полей. При расчете на ЭВМ спектральной плотности флуктуаций приходится иметь дело с дискретными и ограниченными во времени рядами наблюдений. Время дискретизации согласовывалось с частотными характеристиками сигнала для исключения эффекта элиазинга (Сабинин, 1969).

В § 3.2 на основе многочисленных наблюдений в различных районах Мирового океана построен обобщенный спектр временных флуктуаций температуры воды в диапазоне от частот турбулентных пульсаций до инерционной частоты. Показано, что в соответствии с теоретической схемой поступления энергии (Озмидов, 1965) на обобщенном спектре можно выделить некоторые достоверные, разрешимые по частоте пики. Однако, главная особенность этого спектра - это монотонное спадание спектральной плотности в область высоких частот, причем спадание спектра в исследуемом диапазоне происходит по закону ω^{-n} , где $n = 1, 2, 3$. Характерный спектр внутренних волн в высокочастотном диапазоне, рассчитанный для ядра сезонного термоклина, в основном определяется локальными условиями и слабо зависит от средних гидрологических условий. Спектры, полученные в различных точках Мирового океана близки и по уровню спектральной плотности и по законам спадания. На основе имеющихся эмпирических данных и теоретических представлений сделана попытка воспроизвести схему распределения энергии по частотам. Выделяется 4 интервала: первый соответствует собственно внутренним волнам и простирается от инерционной частоты до средней частоты Вайсяля; второй начинается от N_{cp} до значений меньше N_m и здесь начинаются нелинейные взаимодействия, возможно проявление механизмов, аналогичных обрушению волн,

но волны еще подчиняются дисперсионному соотношению; третий можно назвать областью слабой турбулентности; четвертый интервал характеризуется развитой турбулентностью в стратифицированной жидкости.

В этом же параграфе исследуется характер сезонной изменчивости частотного спектра. По данным эксперимента ПОЛИМОДЕ получены спектральные плотности колебаний температуры на горизонтах 100 и 700 м для 4 сезонов. Проведенный анализ показал, что спектр для горизонта 100 м в области периодов меньше 24 часов для весны-лета и зимы-осени близки попарно по уровню энергии, но между собой эти пары существенно различаются и по уровню энергии и по законам спадания спектров в зависимости от частоты. В то же время в области периодов больше 24 часов спадание энергии спектра происходит для всех сезонов по одному закону ω^{-3} .

Сравнение спектров для 100 м и 700 м показало, что в деятельном слое океана отклонение от универсального закона (Гаррет, Манк, 1972) достаточно велико.

Отмечено, что в резко выраженном термоклине колебания температуры определяются одной модой и синфазны по глубине, т.е. наблюдается высокая когерентность колебаний на различных горизонтах. В то же время, при неравномерном, ступенчатом изменении температуры наблюдается сложная картина изменения спектральной плотности по глубине, а характер изменения когерентности между слоями говорит о возможной многомодальности колебаний.

Изменчивость пространственных статистических характеристик колебаний температуры в деятельном слое океана исследована в § 3.3. Уже анализ одномерных пространственных флуктуаций, полученных на разнонаправленных галсах на различных полигонах поз-

воляет судить о пространственной структуре поля температуры. Приводятся случаи, когда спектральные функции для отдельных полигонов весьма близки и не выходят за пределы доверительного интервала во всем диапазоне исследуемых частот. Это свидетельствует об изотропии поля температуры. В других случаях, отмечается изотропия поля температуры только для короткопериодных волн и, наконец, когда для всех исследуемых длин волн поле анизотропно. Анализ статистических характеристик показал, что изменение дисперсии в пространстве также хорошо показывает тип поля внутренних волн. Но значительно большую информацию дают двумерные статистические характеристики. Нами рассматривается двумерная корреляционная функция поля температуры, построенная по четырём парам галсов для пяти горизонтов (35, 48, 60, 73 и 86 м). По этим данным хорошо видно, что на всех горизонтах, за исключением 35 м (центральная часть сезонного термоклина), для малых масштабов (порядка 200-300 м) поле изучаемых внутренних волн является изотропным, а с увеличением расстояния становится существенно анизотропным. Также отмечается, что изменение направления максимального радиуса корреляции совпадает с направлением разворота вектора среднего течения. Этот факт может быть объяснен в рамках линейной теории внутренних волн, распространяющихся на фоне сдвигового течения.

Предположение о горизонтальной изотропии поля внутренних волн было использовано Гарретом и Манком (1972) при построении средней климатической модели спектра внутренних волн и основанием для этого им послужили многочисленные данные измерений, в том числе и упомянутые здесь наблюдения.

В § 3.4 изучено влияние горизонтальной изменчивости частоты

Вайсяля на распространение внутренних волн, которые уже в свою очередь влияют на изменчивость вертикальной структуры деятельного слоя. Используя материалы гидрологических наблюдений для Тихого и Атлантического океанов, было проанализировано положение по глубине абсолютных максимальных значений N_m . Отмечено хорошее соответствие характера изменения глубины максимума N и величины ее вертикального градиента с подобными характеристиками распределения температуры для Тихого океана. Рассматривая распространение внутренних волн в океане с горизонтальными неоднородностями поля плотности в приближении геометрической оптики (Миропольский, 1974) была получена оценка их изменчивости в пространстве. Показано, что могут возникать дополнительные эффекты, оказывающие влияние на характер вертикальной структуры деятельного слоя океана: могут возникать области больших колебаний температуры по вертикали за счет роста амплитуды внутренних волн, инверсии температуры по вертикали в результате неустойчивости внутренних волн.

В § 3.5 приведены результаты исследований изменчивости поля внутренних волн в сезонном термоклине под действием ветра, на основе многолетних экспериментальных исследований, проведенных на Черном море. Было показано, что спектр среднего ветра, полученного по осреднению индивидуальных спектров на 4 горизонтах в 4 метровом приводном слое, совпадает с индивидуальными. Для оценки влияния ветра на поле температуры в воде был проведен полный взаимный спектральный анализ флуктуаций осредненной по вертикали скорости ветра с пульсациями температуры воды на различных горизонтах. Обработанные таким образом натурные данные для восточной и западной части Черного моря, полученные при

различных гидрометеорологических условиях подтвердили единый механизм взаимодействия. Так при линейно растущей со временем скорости ветра, во-первых, происходит увеличение энергии колебаний температуры высокочастотной части спектра; во-вторых, выделяются пики преобладающих колебаний на фиксированных частотах и со временем происходит рост пиков на средней и максимальной частоте Вьясяля и, наконец, на последней станции происходит "стягивание" спектров по уровню энергии для различных горизонтов во всей области исследуемых частот, т.е. весь термоклин колеблется как одно целое.

Анализ когерентности и сдвига фаз между флуктуациями скорости ветра и температуры в сезонном термоклине показал, что при усилении скорости ветра отмечается рост когерентности со временем. Причем когерентность растет сначала в области высоких частот, а затем, начинается увеличение ее на средних и низких частотах. Возможно это подтверждает существование механизма раскочки "высокочастотной ряби" внутренних волн в термоклине, за счет которого возникают пики на спектрах и высокие значения когерентности. Аналогичный результат был получен и в численных экспериментах (Орланский, Серасоли, 1980).

В § 3.6 анализируются прямые экспериментальные наблюдения перестройки поля температуры в верхнем слое моря при прохождении внутренних волн. Для этой цели были использованы наблюдения, полученные автором в рамках международного эксперимента "Камчия-77" в западной части Черного моря. Было установлено, что при усилении ветра в приводном слое моря произошло резкое обострение сезонного термоклина и увеличение сдвиговой скорости, что привело к образованию линз более теплых вод на нижней границе тер-

моклина. Причем появление слоев инверсий температуры в нижней части термоклина происходит случайно, а длительность их заметно варьирует. Полученные гистограммы частоты их появления в зависимости от времени их существования совпадает с периодами внутренних волн, соответствующих средним и максимальным значениям частоты Вьясяля. Проведенный анализ показал, что в результате совокупного действия усиления сдвиговой неустойчивости и роста нелинейности внутренних волн при увеличении скорости ветра могут создаваться условия их разрушения на границах сезонного термоклина и образование инверсионных прослоек свойств морской воды. Возможность такого механизма подтверждается лабораторными исследованиями (Броун, Вивант, 1973) и наблюдениями на озере Лох-Несс (Торп, 1977).

Глава 4. Основные закономерности формирования и эволюции верхнего квазиоднородного слоя и сезонного термоклина.

В данной главе детально проанализированы основные определяющие параметры характеристик деятельного слоя океана, описаны модели временной эволюции сезонного термоклина и проведены сравнения расчетов с имеющимися наблюдениями и с данными специальных измерений, проведенных автором.

Проделанный анализ изменчивости термической структуры верхнего слоя океана показал ее зависимость от большого числа определяющих факторов и особенности эволюции в различных временных масштабах. Поэтому в § 4.1 выделены определяющие параметры и обсуждается их роль в формировании вертикального профиля температуры. Используя возможности теории размерности и подобия были выписаны формулы для определения толщины ВКС, нижней границы сезонного термоклина и величины вертикального градиента

температуры в нем типа

$$H_0 = \varphi(V_*, Q, f, g\beta),$$

где V_* - скорость трения, Q - поток тепла, падающий на поверхность океана, f - параметр Кориолиса и $g\beta$ - стратификация воды верхнего слоя и g - сила тяжести, а β - коэффициент термического расширения морской воды. На основе анализа данных для судов погоды в Тихом океане были получены эмпирические зависимости для всех основных характеристик термической структуры ДСО (Филюшкин, 1965, 1968). Было показано, что зависимости универсальны, но коэффициенты и показатели степени при определяющих параметрах меняются в пространстве.

Применение этих формул для расчета основных характеристик ВКС и СТ для Тихого и Индийского океанов подтвердило, что они дают результаты более близкие к реальным, чем применение формулы Россби-Монтгомери (1939).

Проверка гипотезы "волнового перемешивания" показала, что универсальной зависимости характеристик ВКС от параметров волн не отмечается. В то же время в большом числе работ отмечается роль циркуляции Ленгмюра на формирование термической структуры океана (Шумилов, Косарев, Лебедев, 1973; Дуванин и др., 1974; Поллард, 1979; Рянжин, 1981). Используя ранее принятый подход, в § 4.2 были рассмотрены возможности приложения теории размерности и подобия к анализу циркуляций Ленгмюра (Красицкий, Филюшкин, 1987). В качестве главных параметров были приняты: средняя скорость ветра U , средняя высота поверхностных волн h , частота и волновое число спектрального максимума - ω_m и

K_m , связанных между собой дисперсионным соотношением. Заметим, что параметры волнения зависят, помимо скорости ветра, от продолжительности его действия и разгона волн. Определение этих зависимостей является самостоятельной задачей теории ветровых волн (Захаров, Заславский, 1983). Наконец, свойства воды характеризуются лишь кинематическим коэффициентом турбулентной вязкости ν .

Используя принятые выше определяющие параметры для любой геометрической характеристики циркуляций Ленгмюра, например, L - расстояние между полосами на поверхности, можно записать

$$\frac{L}{U^2/g} = \varphi\left(\bar{h} K_m, \frac{U}{\bar{h}\omega_m}, \frac{\nu}{\bar{h}^2\omega_m}\right).$$

Учитывая связи между определяющими параметрами, эту зависимость можно переписать в виде

$$\frac{L}{U^2/g} = \varphi(\tilde{\omega}_m).$$

Безразмерная частота спектрального максимума $\tilde{\omega}_m = \omega_m U/g$ является функцией продолжительности действия ветра T_U и разгона X , тогда как ω_m определяется непосредственно по частотному спектру волнения. Таким образом, последняя формула показывает, что универсальной зависимости L от U ожидать нельзя; данные измерений L должны иметь разброс по T_U и X .

Проведенный анализ натуральных данных свидетельствует о важности учета степени развития волн; зависимость от продолжитель-

ности действия ветра и разгона. Наблюдения, проведенные при одинаковых условиях развития волнения описываются хорошо выраженной зависимостью. Кроме того, полученные в двух примерах значения наблюдаемого времени генерации циркуляций от 5 до 72 мин находятся в диапазоне реального времени формирования полос на поверхности океана (Ленгмюр, 1938; Рянжин, 1981).

Проделанный анализ позволяет более четко сформулировать основные требования для натурных исследований циркуляций: кроме измерения основных геометрических характеристик циркуляций, скоростей опускания и подъема воды в ячейках, одновременно необходимо проводить инструментальные измерения ветровых волн и скорости ветра над морем. В то же время установление полуэмпирических связей между толщиной ВКС и шириной полос циркуляций Ленгмюра, позволит по явлениям, легко наблюдаемым на поверхности, прогнозировать отдельные характеристики термической структуры ДСО.

Непосредственное изучение профилей температуры в общепринятых координатах не позволяет выделить общие закономерности, так как профили не сравнимы между собой в разные моменты времени. Поэтому в § 4.3 рассматривается возможность параметризации изменения температуры в безразмерном виде: от поверхности до верхней границы H_0 температура постоянна и равна T_s , ниже происходит резкое уменьшение температуры в довольно тонком слое СТ и на глубине H_D температуру T_D можно считать постоянной. Эта глубина отождествляется с нижней границей деятельного слоя. Практически эту границу легко определить по условному критерию: амплитуда годовых колебаний температуры должна составлять 5-10% амплитуды колебаний поверхностной температуры.

Вертикальный профиль температуры воды в различные моменты времени можно описать с помощью безразмерных переменных (Китайгородский, Миропольский, 1970; Миропольский, Филошкин, Чернышков, 1970)

$$\Theta = \frac{T_s(t) - T(z, t)}{T_s(t) - T_D}, \quad \eta = \frac{z - H_0(t)}{H_D - H_0(t)},$$

причем такое описание основывается на гипотезе о том, что безразмерный профиль $\Theta(z, t)$ зависит только от безразмерной координаты η , так что зависимость $\Theta(t)$ для любых z дается параметрически через $H_0(t)$ и $T_s(t)$.

Экспериментальная проверка автомодельности профиля температуры была проведена по данным наблюдений над температурой, полученных на судах погоды в течение года, практически на всех станциях погоды в Тихом и Атлантическом океанах. Для станций "Папа" и "Танго" были построены безразмерные профили по отдельным наблюдениям для всех месяцев и по среднемесячным данным. В первом случае было показано, что наиболее четкая автомодельность проявляется в июле-сентябре, т.е. когда наблюдается хорошо развитый СТ. Значительный разброс в зимние месяцы объясняется большой толщиной ВКС, слабой выраженностью СТ и меньшим отличием колебаний температуры на поверхности по сравнению с глубиной H_D . Анализ безразмерных профилей температуры для всех станций показал, что более целесообразно строить два обобщенных профиля температуры: для стадии прогрева океана, когда поток тепла положительный, и для стадии охлаждения (поток тепла отрицательный), когда происходит заглубление термоклина и

уменьшение его градиентов. Анализ данных всех судов погоды показал, что автомоделность в среднем обнаруживается в океане повсеместно и во все времена года, однако, вид автомоделной функции может несколько меняться в пространстве (Филушкин, Миропольский, 1981; Нестеров, 1976) и от временных интервалов осреднения (Миропольский, Филушкин, Чернышков, 1970; Тужилкин, 1983). Существование такой автомоделности оказалось важным для построения моделей деятельного слоя океана (Китайгородский, Миропольский, 1970; Каменкович, Харьков, 1975).

В § 4.4 рассмотрена одномерная модель термической структуры деятельного слоя океана, основанная на предположении об автомоделности процесса переноса тепла в сезонном термоклине (наличие автомоделности постулируется как для температуры, так и для потока тепла) (Филушкин, Миропольский, 1981).

Уравнение обмена теплом по вертикали запишем в виде

$$\frac{\partial T}{\partial t} = - \frac{\partial Q}{\partial z}, \quad (4.4.1)$$

где $Q(z, t)$ - нормированный на ρC_p (C_p - теплоемкость, ρ - средняя плотность) суммарный поток тепла. В $Q(z, t)$ включены турбулентный и молекулярный потоки тепла, а также тепла за счет внутренних волн и адвекции. Предполагается выполнение естественного требования непрерывности потока тепла Q и температуры T на границах термоклина. Проинтегрировав (4.4.1) по z от 0 до $H_0(t)$ получим

$$H_0 \frac{dT_s}{dt} = Q_s - Q_{H_0}. \quad (4.4.2)$$

где $Q_s(t)$ - поток тепла через поверхность океана, $Q_{H_0}(t)$ - поток тепла через верхнюю границу термоклина. Далее используется гипотеза: в термоклине ($H_0 \leq z \leq H$) для профиля температуры и потока тепла $Q(z, t)$ существуют автомоделные распределения вида

$$(T - T_D)(T_s - T_D)^{-1} = y(x), \quad x = (H_D - z)(H_D - H_0)^{-1}, \quad (4.4.3)$$

$$(Q - Q_D)(Q_{H_0} - Q_D)^{-1} = \varphi(x), \quad (4.4.4)$$

где $y(x)$ и $\varphi(x)$ - некоторые универсальные функции подлежащие определению.

Одновременное выполнение (4.4.3) и (4.4.4) является условием существования автомоделного решения уравнения (4.4.1). Если поток тепла в термоклине представить в виде $Q = -\alpha dT/dz$ (гипотеза Бусинеска), где $\alpha = \text{const}$ - эффективный коэффициент обмена теплом, то из (4.4.3) автоматически следует (4.4.4). В общем случае требование выполнения соотношения (4.4.4) является дополнительной по отношению к (4.4.3) гипотезой, косвенное экспериментальное подтверждение которой было дано в § 4.3.

Решение этой задачи показало, что заглублиение и подъем ВКС может характеризоваться различными автомоделными распределениями и константами. В целом для проверки изложенной здесь теории использовались данные наблюдений, полученные на кораблях погоды в Тихом и Атлантическом океанах. Следует отметить, что степенные

зависимости, полученные по экспериментальным данным хорошо согласуются с теоретическим описанием гестерезиса (Филишкин, Миропольский, 1961). Расчет характеристик сезонного термоклина проводился для станции "Р". Сопоставление их с данными наблюдений указывает на достаточно хорошее согласие теории с экспериментом. Наибольшее различие данных наблюдений от расчетных имеется в области перестройки с режима заглубления на режим подъема верхней границы СТ.

К настоящему времени имеется большое число работ, посвященных использованию моделей для конкретных расчетов и проверке различных вариантов гипотез замыкания и подбора коэффициентов (см. обзор Зилитинкевич, Реснянский, Чаликов, 1978). Как правило, такие исследования выполнялись для отдельных районов океана и всегда оставался открытым вопрос о том, как учитывает одна и та же модель соотношение определяющих параметров, заметно меняющихся с широтой в реальном океане. В § 4.5 сделана оценка адекватности применения интегральной модели для расчета термической структуры верхнего слоя океана в различных широтных зонах по данным кораблей погоды "Е", "С", "А" и "М" в Атлантическом океане. При этом для всех станций было проведено численное моделирование с изменением внешних параметров относительно их средних значений для определения чувствительности модели (Кожелупова, Филишкин, 1985). Использовалась модификация одномерной интегральной модели проникающей конвекции, предложенной в работе Китайгородского и Кожелуповой (1978). Конвекция в океане является важным механизмом в формировании ВКС. В умеренных и высоких широтах осенне-зимнее конвективное перемешивание в основном определяет профиль температуры (Зубов, 1947; Булгаков, 1961; Доронин, 1981). В то же время конвекция играет важную роль и в

тропических широтах при взаимодействии океана и атмосферы, приводящее к локальному охлаждению и осолонению тонкого поверхностного слоя (Гинзбург, Федоров, 1978; Голицын, 1980). В приводимой модели было учтено изменение потока тепла во времени, а также вклад ветрового перемешивания, который может быть существенен в осенне-зимний сезон. Была составлена замкнутая система уравнений для расчета основных характеристик N_0 и ΔT (разность температуры в СТ). Для удобства решения системы были введены безразмерные переменные $\tilde{N}_0 = N_0/N_0(0)$,

$$\tilde{\Delta T} = \Delta T / \Delta T(0), \quad \tau = t / t_* ,$$

где t_* - масштаб времени, равной 10 суткам. Для решения системы задавались $\Delta T(0)$, $N_0(0)$ в начале охлаждения океана, характерные значения градиента температуры, средняя скорость ветра и средний поток тепла через поверхность океана. Развитие конвекции в зимние месяцы приводит к углублению СТ и уменьшению перепадов температуры, что в конечном счете не позволяло однозначно определять нужные параметры. Поэтому расчет проводился только до января.

Результаты расчетов показывают, что увеличение или уменьшение потока тепла в два раза по сравнению с полученным по метеоданным приводит к более существенным изменениям положения расчетных кривых, чем подобная же операция для скорости ветра, хотя ветер также влияет на скорость заглубления ВКС, особенно при небольшой толщине слоя. В то же время отмечается заметная роль адвекции для станций "А" и "М", находящихся в активных динамических зонах (Саркисян и др., 1972; Залесный, Мшонкин, 1985). В целом, анализ полученных результатов показал, что эволюция профиля температуры при использовании интегральной модели верхнего

слоя океана воспроизводится правильно для различных широтных зон, несмотря на наблюдаемую пространственную изменчивость основных характеристик ВКС. Определяющую роль в процессе заглупления ВКС в осенне-зимний период играет поток тепла через поверхность океана, и знание его точных значений во многом определяет качество модельных расчетов.

Для практических целей большой интерес представляет оперативное прогнозирование по метеорологическим наблюдениям основных характеристик верхнего слоя океана (Яковлев, 1976). В настоящее время проведен анализ различных типов моделей, применяемых при расчете основных характеристик ДСО (Марчук и др., 1976; Калацкий, 1978; Иванов, 1981). В Институте океанологии была разработана интегральная модель (Гарнич, Китайгородский, 1979), предназначенная для прогноза короткопериодных изменений ВКС, происходящих на фоне сезонных колебаний. В § 4.6 описывается полный эксперимент для проверки интегральной модели, выполненный с участием автора в 35 рейсе нис "Академик Курчатов" (см. § 2.2).

Время рейса было приурочено к стадии весенне-летнего прогресса и удалось проследить начало образования термоклина в однородном после зимы океане. Именно на этой стадии развития термоклина наиболее отчетливо проявляется действие определяющих параметров. Исследования также проводились в течение летнего периода: исследовалась временная эволюция хорошо выраженного сезонного термоклина.

Для уточнения значений суммарного потока тепла и скорости течения, которые оценивались по результатам срочных судовых метеонаблюдений, было проведено численное моделирование. По результатам проведенных численных экспериментов было определено, что скорость ветра по судовым наблюдениям завышается на 30%, а поток

тепла занижается на 50% для периода дневного прогресса. Причем такое различие подтверждено и прямыми измерениями потоков тепла (Волков, 1982).

Расчеты показали, что вычисленные значения H_0 в продолжение 4 суток неплохо совпадали с реальными значениями H_0 . Отклонение экспериментальных точек связано с тем, что в первые двое суток слой был выражен слабо из-за малого перепада температуры и однозначное определение H_0 было затруднено, и так как наблюдения проводились через четыре часа, устранить влияние высокочастотных колебаний температуры, связанных с прохождением внутренних волн не представлялось возможным.

Предложенная модель расчета основных характеристик ВКС проверялась также по данным многосуточной станции в умеренных широтах Атлантики в период хорошо выраженного сезонного термоклина. При этом надо отметить, что на этом полигоне изменчивость термических характеристик верхнего слоя в основном определялась постепенным увеличением потока тепла, короткопериодными изменениями ветровых условий и полем внутренних волн. В связи с различным характером изменения основных характеристик ВКС в период наблюдений, были выделены отдельные, наиболее типичные участки анализируемой реализации, для которых и были проведены модельные расчеты. Результаты расчетов показали, что интегральная модель позволяет рассчитывать изменение толщины ВКС и его температуру на 3-4 суток с приемлимой для практики точностью по начальным данным и текущим значениям скорости ветра и потока тепла.

В заключении содержатся выводы диссертационной работы, которые приведены в пункте "Основные научные результаты" автореферата.

В заключении также сформулированы актуальные проблемы дальнейших исследований термической структуры деятельного слоя океана.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах автора:

- I. Аратская В.В., Филошкин Б.Н. Об определении слоев наибольших градиентов температуры и солёности в океане. *Океанология*, 1963, т. 3, вып. 3, с. 424-430.
2. Филошкин Б.Н. О возможности определения некоторых параметров вертикального профиля температуры в верхнем слое океана. *Океанология*, 1965, т. 5, вып. 6, с. 940-946.
3. Нейман В.Г., Филошкин Б.Н., Щербинин А.Д. Структура и циркуляция вод восточной части Индийского океана в период летнего муссона. В сб. *Океанологические исследования*, М., Наука, 1966, № 15, с. 5-22.
4. Филошкин Б.Н. О возможности определения основных термических характеристик поверхностного слоя в океане на основе теории подобия. Тезисы докладов II Международного океанографического конгресса, М., Наука, 1966, с. 387.
5. Филошкин Б.Н. Перемешивание вод. В монографии "Гидрология Тихого океана", М., Наука, 1968, с. 168-184.
6. Филошкин Б.Н. Термические характеристики верхнего слоя в северной части Тихого океана. В сб. *Океанологические исследования*, М., Наука, 1968, № 19, с. 22-69.
7. Иванов Ю.А., Смирнов В.А., Тареев В.А., Филошкин Б.Н. Экспериментальное исследование колебаний температуры в море в диапазоне частот внутренних гравитационных волн. *Изв. АН СССР, ФАО*, 1969, т. 5, № 4, с. 416-425.
8. Навроцкий В.В., Филошкин Б.Н. Статистический анализ временных колебаний температуры в поверхностном слое моря. *Изв. АН СССР, ФАО*, 1969, т. 5, № 7, с. 714-723.
9. Навроцкий В.В., Филошкин Б.Н. Статистический анализ измерений скорости ветра в приводном слое. *Изв. АН СССР, ФАО*, 1970, т. 6, № 3, с. 292-298.
10. Бенилов А.Ю., Филошкин Б.Н. Приложение методов линейной фильтрации к анализу флуктуаций в поверхностном слое моря. *Изв. АН СССР, ФАО*, 1970, т. 6, № 8, с. 810-819.
- II. Миропольский Ю.З., Филошкин Б.Н., Чернышков П.П. О параметрическом описании профилей температуры в деятельном слое океана. *Океанология*, 1970, т. 10, вып. 6, с. 1101-1107.

12. Miropolsky Yu.Z., Filyshkin B.N. Study of the temperature structure in the ocean upper layer. *Abstracts of 15 General Assembly JAPSO, 1970, Tokyo*. in: *Proc. Joint Oceanogr. Assembly, 1971*, p. 218.
13. Kitaigorodsky S.A., Miropolsky Yu.Z., Filyushkin B.N. The investigations of statistical structure of the internal waves field in the ocean. *Proc. Joint Oceanogr. Assembly /Tokyo, 1970/*, 1971, p. 209.
14. Миропольский Ю.З., Филошкин Б.Н. Исследование флуктуаций температуры в верхнем слое океана в масштабах внутренних гравитационных волн. *Изв. АН СССР, ФАО*, 1971, т. 7, № 7, с. 778-797.
15. Китайгородский С.А., Миропольский Ю.З., Филошкин Б.Н. Исследование статистической структуры поля внутренних волн в океане. Тезисы докладов Советско-французский симпозиум по внутренним волнам в океане. АН СССР, Сибирское отделение, Новосибирск, 1971, с. 13.
16. Миропольский Ю.З., Филошкин Б.Н. Некоторые характеристики поля изотерм в море при наличии внутренних гравитационных волн. Тезисы докладов Советско-французский симпозиум по внутренним волнам в океане. АН СССР, Сибирское отделение, Новосибирск, 1971, с. 22.
17. Китайгородский С.А., Миропольский Ю.З., Филошкин Б.Н. Экспериментальное исследование мезомасштабных пространственных колебаний температуры в верхнем слое океана. В сб. *Внутренние волны в океане*. АН СССР, Сибирское отделение, Новосибирск, 1972, с. 67-88.
18. Миропольский Ю.З., Филошкин Б.Н. Некоторые статистические характеристики колебаний изотерм в море при наличии внутренних волн. В сб. *Внутренние волны в океане*. АН СССР, Сибирское отделение, Новосибирск, 1972, с. 119-134.
19. Китайгородский С.А., Миропольский Ю.З., Филошкин Б.Н. О различии внутренних волн и турбулентности по данным о флуктуациях температуры в океане. *Изв. АН СССР, ФАО*, 1973, т. 9, № 3, с. 272-292.
20. Карабашева Э.И., Кожелупова Н.Г., Миропольский Ю.З., Пака В.Т., Филошкин Б.Н. Некоторые данные о пространственной структуре поля внутренних волн в океане. *Океанология*, 1974, т. 14, вып. 3, с. 462-467.

21. Филюшкин Б.Н. Суточные колебания радиационного происхождения. § 4.4. В кн. Моница А.С., Каменковича В.М., Корта В.Г. "Изменчивость Мирового океана", Л., Гидрометеоздат, 1974, с. 146-149.
22. Миропольский Ю.З., Солнцева Н.И., Филюшкин Б.Н. О горизонтальной изменчивости частоты Вэйселя-Брента в океане. Океанология, 1975, т. 15, вып. 1, с. 25-32.
23. Кожелупова Н.Г., Миропольский Ю.З., Филюшкин Б.Н. Вертикальная изменчивость пространственной структуры поля внутренних волн в океане. Океанология, 1975, т. 15, вып. 6, с. 962-965.
24. Кожелупова Н.Г., Филюшкин Б.Н. Флуктуации температуры в верхнем слое моря. Бюллетень Коорд.центра стран СЭВ, 1977, № 5, с. 68-74.
25. Бенилов А.Ю., Солнцева Н.И., Филюшкин Б.Н. О связи изменчивости поля ветра с внутренними волнами. Океанология, 1978, т. 18, вып. 3, с. 296-405.
26. Миропольский Ю.З., Филюшкин Б.Н. Об автомоделности профилей температуры и сезонной изменчивости верхнего термоклина (на примере Тихого океана). Тезисы. XIV Тихоокеанский научный конгресс, Хабаровск, 1979, с. 77-78.
27. Филюшкин Б.Н., Кожелупова Н.Г. Изменения поля внутренних волн в термоклине под действием ветра. В кн. "Взаимодействие атмосферы, гидросферы и литосферы в прибрежной зоне моря". Камчия-77", София: Изд. БАН, 1980, с. 127-137.
28. Любимцев М.М., Филюшкин Б.Н., Филиппов И.А., Чувильчиков С.И. Аппаратура и методика для исследований флуктуаций гидрофизических полей. В кн. "Взаимодействие атмосферы, гидросферы и литосферы в прибрежной зоне моря. Камчия-77". София, Изд. БАН, 1980, с. 119-126.
29. Любимцев М.М., Филюшкин Б.Н. Спектры флуктуаций температуры прибрежных вод в широком диапазоне частот. В кн. "Камчия-77" София, Изд. БАН, 1980, с. 138-142.
30. Филюшкин Б.Н., Миропольский Ю.З. Сезонная изменчивость верхнего термоклина и автомоделность профилей температуры. Океанология, 1981, т. 21, вып. 3, с. 416-423.

31. Белкин И.М., Бышев В.И., Гамсахурдия Г.Р., Филюшкин Б.Н. Пространственно-временная изменчивость структуры деятельного слоя океана в районе эксперимента ПОЛИМОДЕ. Второй Всесоюзный съезд океанологов. Тезисы докладов. Севастополь, 1982, вып. 1, с. 15-16.
32. Филюшкин Б.Н. Образование температурных инверсий в сезонном термоклине при прохождении внутренних волн. Второй Всесоюзный съезд океанологов. Тезисы докладов. Севастополь, 1982, вып. 1, с. 87-88.
33. Гранич Н.Г., Кожелупова Н.Г., Филюшкин Б.Н. Модели временной эволюции основных характеристик деятельного слоя океана. Второй Всесоюзный съезд океанологов. Тезисы докладов. Севастополь, 1982, вып. 1, с. 134-135.
34. Филюшкин Б.Н. Экспериментальные исследования образований инверсий температуры в термоклине. Океанология, 1983, т. 23, вып. 2, с. 238-243.
35. Любимцев М.М., Филюшкин Б.Н. Гидрологические условия зоны шельфа и методика измерения гидрофизических полей. В кн. Взаимодействие атмосферы, гидросферы и литосферы в прибрежной зоне моря. Камчия-79. София, Изд. БАН, 1983, с. 167-168.
36. Филюшкин Б.Н. Временная эволюция поля внутренних волн в термоклине. В кн. Камчия-79. София, Изд. БАН, 1983, с. 170-175.
37. Филюшкин Б.Н., Кожелупова Н.Г. Когерентность колебаний температуры в термоклине по вертикали и их связь с флуктуациями скорости ветра над морем. В кн. Камчия-79, София, Изд. БАН, 1983, с. 176-183.
38. Любимцев М.М., Филюшкин Б.Н., Гайдюков А.А., Сухов А.Л. Турбулентные флуктуации и тонкая структура гидрофизических полей деятельного слоя моря. В кн. Камчия-79, София, Изд. БАН, 1983, с. 183-196.
39. Филюшкин Б.Н. Пространственно-временная изменчивость сезонного термоклина в Тихом океане. В сб. Гидродинамика и осадкообразование, М., Изд. Наука, 1983, с. 95-109.
40. Бенилов А.Ю., Кожелупова Н.Г., Филюшкин Б.Н. К расчету термической структуры верхнего слоя океана. Океанология, 1985, т. 25, вып. 3, с. 378-385.

41. Кожелупова Н.Г., Филошкин Б.Н. Конвективно-ветровое перемешивание в деятельном слое океана в различных широтных зонах Атлантического океана. Океанология, 1985, т. 25, вып. 6, с. 926-932.
42. Белкин И.М., Филошкин Б.Н. Сезонная изменчивость термической структуры верхнего слоя океана в районе ПОЛИМОДЕ. Океанология, 1986, т. 26, вып. 2, с. 204-211.
43. Филошкин Б.Н. Пространственная изменчивость термической структуры деятельного слоя океана при прохождении синоптических вихрей. Океанология, 1986, т. 26, вып. 3, с. 395-401.
44. Белкин И.М., Виноградова К.Г., Гамсахурдия Г.Р., Филошкин Б.Н. Характеристика верхнего слоя океана. В кн. Атлас ПОЛИМОДЕ (под ред. А.Д.Вуряса, В.М.Каменковича, А.С.Монина), 1986, разд. 8,4, с. 271-280.
45. Красицкий В.П., Филошкин Б.Н. Определение параметров циркуляций Ленгмюра на основе теории подобия. Изв. АН СССР, ФАО, 1987, т. 23, № 3, с. 293-299.



60x90/16
Печ.л.3,0.

Т-12484.
Зак.№92.

Подписано к печати 10.07.1987 г.
Тираж 100.

Институт океанологии им.П.П.Ширшова Академии наук СССР
Москва, ул.Красикова, дом 23.