

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ  
МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

*На правах рукописи*

ПОГРЕБНОЙ АЛЕКСАНДР ЕВТИХИЕВИЧ

УДК 551.465

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ТОНКОСТРУКТУРНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ  
И ВЕРТИКАЛЬНОГО ОБМЕНА В ОКЕАНЕ  
ПРИ НАЛИЧИИ СОЛЕВЫХ ПАЛЬЦЕВ

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ  
на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
(04.00.22 - геофизика)

Севастополь

1993



26 27. 1993

Работа выполнена в Морском гидрофизическом институте  
АН Украины.

Научный руководитель: доктор физико-математических наук  
Н. А. Пантелеев

Официальные оппоненты: доктор технических наук  
В. М. Кушнир,  
кандидат физико-математических наук  
В. И. Никишов.

Ведущая организация: Одесский гидрометеорологический  
институт.

Защита состоится " 13 " мая 1993 года на заседании  
Специализированного совета Д 016.01.01 при Морском гидрофизическом институте АН Украины (335 000, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Морского гидрофизического института АН Украины (335 000, г. Севастополь, ул. Капитанская, 2).

Автореферат разослан " 9 " апреля 1993 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета  
доктор физико-математических наук,

А. М. Суворов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Известны обширные области океана, где наличие конвекции солевых пальцев в его толще доказано многолетними микроструктурными контактными и оптическими измерениями. Это прежде всего район северо-западной части Тропической Атлантики ("C-SALT"), где ступенчатая стратификация с наличием солевых пальцев на высокоградиентных прослойках занимает вертикальный слой 200-600 м и простирается по горизонтали на сотни километров. Проявление конвекции солевых пальцев в виде ступенчатой стратификации также наблюдается в Тирренском море и в области стока средиземноморских вод в Атлантику под внутритермоклинными линами.

Несмотря на определенные успехи, достигнутые при изучении конвекции солевых пальцев в лаборатории, натуральных экспериментах и теории (см., например, обзор [15]), остается ряд вопросов, исследованных слабо. Например, известны различные формулы для оценок вертикальных потоков тепла, соли, плавучести, связанных с соевыми пальцами. Однако, применение различных соотношений для оценки по STD-данным значений вертикальных потоков тепла, соли, плавучести в океане дает существенно различающиеся величины. С другой стороны, мы имеем далеко не полное представление о механизмах обмена и формирования тонкой структуры океана при вертикальной стратификации типа солевых пальцев в условиях фронтальных зон. Все это, в свою очередь, связано с несовершенством существующей STD-аппаратуры (имеется в виду вертикальное разрешение зондирующих STD-комплексов, особенно, по солености, плотности) и несовершенством известных методик проведения натуральных экспериментов, которые не обеспечивают необходимое горизонтальное разрешение. В связи с вышесказанным и были сформулированы цели и задачи данной диссертационной работы.

### **Цели и задачи исследования**

Целью данной диссертационной работы является:

- изучение механизмов формирования тонкой структуры океана в различных (по количественным критериям) фоновых гидрологических условиях и вклада в нее эффекта солевых пальцев;

- исследование условий применимости известных лабораторных формул расчета вертикальных потоков тепла, соли, плавучести, обусловленных конвекцией солевых пальцев, к натурным STD-данным;

- на основе мелкомасштабных натуральных измерений получение достоверных оценок коэффициентов вертикального обмена, обусловленного конвекцией солевых пальцев.

*К основным задачам диссертации относятся:*

1) разработка и внедрение методики проведения натурального эксперимента по исследованию тонкой термохалинной структуры океана, так как существующие методики не обеспечивают удовлетворительное горизонтальное разрешение измерений;

2) разработка и внедрение программного обеспечения по вводу, первичной обработке и графическому отображению данных специализированных STD-зондов "Комплекс-1" и "Комплекс-1М";

3) разработка конструкции "совмещенного" датчика температуры и электропроводности, обеспечивающего минимум динамических ошибок расчета солености;

4) разработка и внедрение алгоритма поиска оптимальных цифровых фильтров для динамической коррекции исходных STD-данных;

5) экспериментальное исследование в лабораторных условиях конвективных процессов в ступенчатых структурах при вертикальной стратификации типа солевых пальцев;

6) исследование ступенчатых структур в зоне термохалинного фронта Межпассатного противотечения;

7) на основе массового статистического материала получение достоверных количественных оценок вертикальных потоков тепла, соли, плавучести, обусловленных конвекцией СП.

#### **Актуальность темы**

На основе сформулированных целей и задач темой диссертации явилось развитие современных методик экспериментальных исследований и на их основе экспериментальное изучение тонкоструктурной изменчивости и получение достоверных оценок вертикальных потоков тепла, соли, плавучести, имеющих место в океане при наличии конвекции солевых пальцев.

Актуальность подобных исследований диктуется тем, что

конвекция СП является одним из механизмов вертикального обмена в океане, участвуя в переносе тепла, соли и других растворенных (в том числе и экологически вредных) веществ, СП играют важную роль в формировании вертикальной структуры гидрофизических, химических, биологических полей. Количественные оценки реальных коэффициентов вертикального обмена, обусловленного СП, весьма важны для создания физико-математических моделей динамических процессов в океане. Знание законов обмена необходимо для решения столь актуальных практических проблем, как охрана окружающей среды от загрязнения, прогноз биологической продуктивности вод, расчет теплового влияния океана на атмосферу и прогноз аномалий погоды и климата. Как отмечалось выше, известны различные формулы для оценок вертикальных потоков, обусловленных конвекцией солевых пальцев. К сожалению, оценки потоков, получаемые по разным лабораторным законам, могут существенно различаться. Поэтому актуально выяснить условия применимости известных способов оценок потоков, обусловленных солевыми пальцами.

**На защиту выносятся:**

- способы уменьшения динамических погрешностей STD-систем;
- результаты лабораторных исследований конвективных процессов в ступенчатых структурах при вертикальной стратификации типа солевых пальцев;
- результаты натурных исследований ступенчатых структур в океане при вертикальной стратификации типа солевых пальцев.

**Личный вклад автора.**

Основные результаты диссертации получены лично автором. Им сконструировано и изготовлено разнообразное лабораторное оборудование, проведены лабораторные опыты, создано оригинальное программное обеспечение по вводу, обработке, визуализации и удобному графическому отображению информации, получаемой специализированными тонкоструктурными зондами. Автор принимал непосредственное участие в планировании и успешном проведении многочисленных натурных экспериментов в 49-м рейсе НИС "Михаил Ломоносов", 38-м и 43-м рейсах НИС

"Академик Вернадский", 8-м рейсе НИС "Гидрооптик", обсуждении и анализе всех приведенных в диссертации результатов, написании текстов цитируемых публикаций [2, 8 - 14, 20 - 37], оформлении заявок на изобретения [1, 15, 16, 33], чтении докладов на конференциях и симпозиумах различных уровней.

#### ***Практическая значимость работы.***

Предложенные алгоритмы и методики исследований могут быть использованы для получения достоверной информации о тонкой термохалинной структуре океана. Полученные лабораторные результаты могут быть использованы при интерпретации результатов натуральных исследований и при создании физико-математических моделей солевых пальцев. Выявленные физические закономерности поведения ступенчатых структур со стратификацией типа солевых пальцев в натуральных условиях уточняют общие представления и расширяют наши знания о механизмах обмена и тонкой термохалинной структуре океана. Приведенные в работе оценки коэффициентов вертикального обмена необходимы для корректного решения задач динамики океана, охраны окружающей среды, расчета биопродуктивности и т. п.

#### ***Апробации диссертации.***

Исследования, изложенные в диссертации, выполнялись по проектам "Микроструктура", "Диффузия" и хозяйственным темам. Результаты были представлены на всесоюзных симпозиумах и конференциях в 1985 - 1991 гг., в частности, на I-IV конференциях "Вклад молодых ученых в решение современных проблем океанологии и гидробиологии" в 1986-89 гг. (г. Севастополь), на Всесоюзной конференции "Актуальные проблемы современной океанологии" (Репино, 1987), на II и III Всесоюзных симпозиумах "Механизмы генерации мелкомасштабной турбулентности в океане" (Калининград, 1985 г. и 1990 г.), на III Съезде советских океанологов Ленинград, 1987 г.), на III Всесоюзном симпозиуме "Тонкая структура и синоптическая изменчивость морей и океанов" (Таллинн, 1990 г.), на Всесоюзной конференции "Проблемы стратифицированных течений" (г. Канев, 1991 г.). Они также докладывались на совещаниях межведомственной группы по проекту "Микроструктура" (в 1987 - 1990 гг.), на

международном совещании с участием ведущих американских гидрофизиков Джойса Т. М. и Стэлкопа М. К. (43 рейс НИС "Академик Вернадский", 1991 г.) и на международном семинаре в Вудс-Холле США с участием Шитта Р. В. (США, 1991 г.). На последнем конкурсе молодых ученых МГИ АН УССР имени академика В. В. Шулейкина (1990 г.) материал, представленный в диссертации, удостоен I премии.

Результаты диссертации подтверждены четырьмя авторскими свидетельствами СССР на изобретения [1, 7, 8, 25] и опубликованы в работах [2 - 6, 9 - 24] (работы [12 - 19] без соавторов), использовались в 49-м рейсе НИС "Михаил Ломоносов", в 38 и 43 рейсах НИС "Академик Вернадский", в 8-м рейсе НИС "Гидрооптик", в отчетах по проектам "Микроструктура" и "Диффузия", отчетах по хозяйственным темам.

#### ***Достоверность представленных результатов.***

Достоверность и воспроизводимость лабораторных опытов, истинность полученной передаточной функции отклика датчика электропроводности обеспечена внедрением оригинальных лабораторных установок, защищенных авторскими свидетельствами. Достоверность представленных натуральных данных и полученных по ним оценок обусловлена использованием специальной тонкоструктурной СТД- аппаратуры и методик исследований, внедрением разнообразных способов уменьшения влияния динамических погрешностей на получаемый результат, высокой статистической обеспеченностью приведенных оценок.

#### ***Структура и объем работы.***

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Объем диссертации 133 страницы, в том числе 22 рисунка и 2 таблицы. Список литературы включает 92 наименования (55 работ иностранных авторов).

#### **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

В первой главе на основе известных натуральных экспериментальных данных проводится анализ возможной роли солевых пальцев в формировании тонкоструктурной и микроструктурной изменчивости океана. Также дан обзор различных групп натуральных экспериментов по изучению проявлений СП в океане. Исто-

дя из недостаточной изученности некоторых вопросов, связанных с конвекцией СП, дано обоснование актуальности выбора темы и задач исследований.

Вторая глава диссертации полностью посвящена вопросам получения и обработки исходных данных. Состоит она из четырех разделов.

В разделе 2.1 показано, что для изучения связанной с СП тонкоструктурной изменчивости океана аппаратура и методика исследований обязаны удовлетворять следующим требованиям:

а) вертикальное разрешение приборов по температуре и солености должно быть не хуже 10 см;

б) горизонтальное разрешение не должно превышать 100 м - 1 км. В противном случае на соседних профилях зондирования затруднена однозначная идентификация тонкоструктурных элементов с вертикальным масштабом 0.1 - 10 м.

Наиболее целесообразным для выполнения пункта а) является использование тонкоструктурных свободноскользящих вдоль нагруженного кабель-троса STD-зондов типа "Комплекс-1" и "Комплекс-1М". Приведены технические характеристики этих приборов. Так как штатная аппаратура "Комплекс-1" и "Комплекс-1М" не позволяет проводить измерения с высокой частотой зондирования (пункт б)), то описаны конструктивные изменения схемы и методика проведения зондирования этими приборами для достижения необходимого разрешения по горизонтали.

Раздел 2.2 посвящен вопросам первичной обработки данных. Приведена конкретная последовательность операций над исходными рядами данных с обоснованием каждого пункта.

В разделе 2.3 диссертации предлагаются некоторые способы уменьшения динамических ошибок расчета солености, плотности морской воды на аппаратурном уровне STD-систем. Рассмотрены 3 принципиальные возможности сближения передаточных характеристик датчиков температуры (ДТ) и электропроводности (ДВ):

1. Совмещение датчиков температуры и электропроводности в едином проточном корпусе обеспечивает идентичность измеряемых датчиками объемов среды. Кроме того, при таком совмещении механические искажения, которые претерпевает исследуемая

среда (за счет неидеальной протекаемости корпуса и т. п.) на входе обоих измерительных каналов, одинаковы.

2. Введение в электрическую схему зонда блока временной задержки  $\Delta t$  между последовательными опросами ДЭ и ДТ при формировании кадра информации. В качестве критерия для определения "оптимального" значения  $\Delta t$  используется минимальность квадратичных взаимных отклонений фазовых характеристик датчиков при заданной скорости зондирования.

3. Использование распределенного в направлении зондирования датчика температуры (РДТ). В этом случае появляется дополнительный подгодоочный параметр (длина проекции РДТ в направлении зондирования) для сближения амплитудных характеристик ДЭ и РДТ. На основе экспериментально полученной с использованием специальной методики создания стратифицированных растворов [ 1, 12] передаточной функции отклика четырехэлектродного контактного датчика электропроводности макета прибора "Комплекс-1М" произведен расчет "оптимальных" характеристик РДТ.

Преимущества предлагаемых конструктивных особенностей датчиков демонстрируются на основе численного примера имитации зондирования высокоградиентной прослойки, разделяющей однородные слои.

Раздел 2.4 диссертации посвящен цифровым методам динамической коррекции исходных данных для STD-систем. Предложен алгоритм автоматизированного поиска оптимальных значений коэффициентов цифровых фильтров для динамической коррекции. В качестве критерия, по которому можно судить об эффективности коррекции, предлагается использовать безразмерное число  $P$  с областью значений  $[-1, 1]$

$$P = \frac{\sum_i (T_{i+1} - T_i)(S_{i+1} - S_i)}{\sum_i |(T_{i+1} - T_i)(S_{i+1} - S_i)|}$$

где  $T_i, T_{i+1}$  - последовательные значения ряда температуры,  $S_i, S_{i+1}$  - последовательные значения ряда солености, полученные по отфильтрованным значениям рядов температуры и электропроводности.

Наличие динамических шумов прибора наиболее ярко проявляется в местах с резкими изменениями вертикальных градиен-

тов температуры и солености. Поэтому для поиска коэффициентов фильтров наиболее удобно использовать участки со ступенчатой стратификацией дифференциально-диффузионного происхождения. В этом случае значение  $R$  для неваздушенного профиля должно быть положительным и близким к +1. Для этих участков автоматизированная процедура поиска фильтров, уменьшающих динамические ошибки, заключается в подборе значений коэффициентов, при которых параметр  $R$  становится максимальным.

Основная особенность данной процедуры заключается в том, что она не требует трудоемких и дорогостоящих стендовых измерений передаточных функций отклика каналов температуры и электропроводности. В диссертации на примере STD-зонда "Комплекс-1М" демонстрируется применимость найденных таким способом фильтров температуры и электропроводности для существенного уменьшения динамических ошибок.

В главе 3 описаны некоторые особенности поведения связанных с солевыми пальцами структур в условиях ступенчатой стратификации. Состоит она из двух частей.

В разделе 3.1 анализируются результаты различных типов выполненных автором лабораторных экспериментов, где в условиях пальцевой стратификации растворов соли и сахара взаимодействие движений в пальцевых ячейках и вторичной крупномасштабной конвекции порождало квазистационарные структуры типа линз на высокоградиентных прослойках. Для создания вертикальной ступенчатой стратификации использовались методики, защищенные авторскими свидетельствами [1, 25].

Представлены два типа экспериментов. В первом - линза формируется в ограниченной по горизонтали щели на пальцевой границе раздела между двумя однородными слоями жидкости. Второй иллюстрирует формирование аналогичных линз в условиях трехслойной ступенчатой пальцевой стратификации на границах раздела, но уже без искусственно создаваемых горизонтальных неоднородностей. При этом в однородных слоях индуцируется конвективное движение в форме вихрей. Горизонтальный размер индивидуального вихря примерно равен вертикальному размеру квазиоднородного слоя. В среднем слое коэф. интенсивности конвекции существенно выше, чем в верхнем и нижнем. Орби-

тельная скорость элементов жидкости в вихрях достигает 8 мм/сек.

Описанные лабораторные эксперименты могут служить объяснением причины квазирегулярной пространственной изменчивости температуры и солености слоев с горизонтальным периодом, равным вертикальному размеру слоя, которая наблюдается в ступенчатой структуре океана со стратификацией СП.

В разделе 3.2 на основе методики проведения частных серий зондирований STD-зондом "Комплекс-1" анализируются особенности поведения ступенчатых структур в условиях фронта Межлассатного противотечения. Также делается вывод о возможных механизмах обмена в различных местах фронта.

Мезомасштабная съемка на полигоне ( $10^{\circ} \div 11^{\circ}$  с. ш.,  $53^{\circ} \div 54^{\circ}$  в. д.) была проведена буксируемым STD-зондом "Мини-зонд" с горизонтальной дискретностью  $10 \div 20$  миль. По данным этой съемки, определялась общая гидрологическая обстановка на полигоне и возможное местоположение и ориентация фронтальной зоны Межлассатного противотечения. Затем локализация фронтального раздела и его характеристики уточнялись проведением измерений на микрополигоне по данным "Комплекс-1".

Одним из этапов исследований на "микрополигоне" стало проведение двух особо частных разрезов через данную фронтальную зону. Этому способствовала общая гидрометеорологическая обстановка, так как направление дрейфа судна практически совпадало с кросс-фронтальным. Измерения показали, что область максимальных изопикнических градиентов температуры и солености поперек данной фронтальной зоны не является локальной, а имеет горизонтальные размеры. Поэтому удобно использовать понятие "фактической ширины" фронтального раздела, введенное К. Н. Федоровым (страница 73 его книги "Физическая природа и структура океанических фронтов // Л. Гидрометеозадат, 1983, 296 С).

"Фактическая ширина" фронтального раздела составляла  $4 \div 5$  км, перепад температуры вдоль изопикны на глубине 300 м достигал  $1.2^{\circ}\text{C}$ . На глубинах  $250 \div 400$  м обнаружены однородные по температуре и солености слои. Несколько неожиданным

оказался тот факт, что некоторые из этих слоев прослеживаются поперек всей фронтальной зоны, простираясь в обе стороны от фронта. Для однородных слоев внутри фронтальной зоны характерно наличие инверсий (увеличение температуры и солености с глубиной) двух типов: 1) расположенные по краям фронтальной зоны вне фронтального раздела и 2) расположенные внутри "фактической ширины" фронтального раздела. Если проследить за изменением температуры и плотности внутри слоев, включая и инверсные зоны, то можно увидеть, что зоны разных типов принципиально отличаются друг от друга.

На TS-диаграмме линия, соединяющая точки, соответствующие верхней и нижней частям слоя в инверсиях второго типа, располагается параллельно общей линии изменений TS индексов слоя по горизонтали. Вероятно, для этих инверсных зон характерно наличие горизонтальных движений внутри уже образованного слоя, когда верхняя часть слоя смещается относительно нижней.

Инверсные зоны, расположенные по краям фронтальной зоны вне "фактической ширины" фронтального раздела, имеют другую природу. От зондирования к зондированию плотность как верхней, так и нижней частей слоя в инверсной зоне (в отличие от температуры) практически не изменяется.  $T\sigma'$ -диаграмма верхней, более легкой, части проходит параллельно  $T\sigma'$ -диаграмме нижней части и располагается несколько ниже ее. Это свидетельствует о подтекании более тяжелых вод под более легкие за счет адвективных процессов на краях фронтальной зоны. Такое внедрение одних вод в другие должно сопровождаться горизонтальным, точнее изопикническим перемешиванием, чтобы образовать подобную  $T\sigma'$ -диаграмму.

Ниже приведены обобщенные по интервалу глубин 250-400 м характеристики данной фронтальной зоны Межпассатного противотечения.

В данном районе вне фронтальной зоны горизонтальные градиенты температуры и солености не превышают  $\sim 10^{-5}$  °C/м,  $3 \cdot 10^{-6}$  ‰/м соответственно. Инверсии в квазиоднородных слоях отсутствуют. Фоновое вертикальное плотностное отношение составляет  $\approx 1.6$ , а горизонтальное плотностное отношение

вдоль слоя  $\approx 0.75$ .

Поперечный горизонтальный размер данной фронтальной зоны Межпассатного противотечения  $7 \div 10$  км. Горизонтальное плотностное отношение, рассчитанное по перепадам температуры и солености слоев между северной и южной относительно фронта системами ступенек, составляет  $\sim 0.85$ . Фоновые кросс-фронтальные градиенты температуры и солености достаточно хорошо скомпенсированы в поле плотности. Параметр термоклинности (тангенс угла наклона изотерм) достигает  $1.2 \cdot 10^{-2}$ , тогда как бароклинность (наклон изопикн) не превышает  $4 \cdot 10^{-4}$ .

"Фактическая ширина" фронтального раздела  $4 \div 5$  км. Горизонтальные градиенты температуры и солености здесь -  $(1 \div 4) \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C/м}$  ( $0.3 \div 1$ )  $\cdot 10^{-3} \text{ } \text{‰/м}$  соответственно. Для "квазиоднородных" слоев характерно наличие инверсий (увеличение температуры и солености с глубиной) 2-го типа. Вертикальное плотностное отношение для "пальцевых" (уменьшение температуры и солености с глубиной) высокоградиентных прослоек составляет примерно 1.3. Горизонтальное плотностное отношение вдоль "квазиоднородных" слоев превышает соответствующую величину отношения вертикальных потоков тепла и соли в конвекции СП. В ряде случаев горизонтальное плотностное отношение достигает значений вертикального плотностного отношения.

Поперечный размер периферийных участков (краев) фронтальной зоны вне "фактической ширины" фронтального раздела  $\sim 1 \div 2$  км. Горизонтальные градиенты температуры и солености в этих областях -  $(0.5 \div 5) \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C/м}$  и  $(0.1 \div 1) \cdot 10^{-4} \text{ } \text{‰/м}$  соответственно. Внутри "квазиоднородных" слоев возможно наличие инверсий 1-го типа. Величина горизонтального плотностного отношения вдоль "квазиоднородных" слоев близка к 1.

В четвертой главе диссертации для ступенчатых структур океана предложена процедура автоматического выделения зон возможной конвекции солевых пальцев для ступенчатых термохалинных структур: исходные профили температуры и солености фактически заменяются модельными, на которых, во-первых, выделяются области с градиентами температуры ниже некоторого критического (слои), во-вторых, если толщина такого слоя больше некоторой заданной, то температура и соленость в слое

считаются постоянными и равными средним по этому слою, и, в-третьих, в области между двумя такими слоями (прослойке) считается постоянным плотностное отношение, определяемое температурой и соленостью этих двух слоев. Внутри прослойки выделяются зоны с градиентами температуры большими, либо равными среднему по данной прослойке градиенту. Эти зоны ("подпрослойки") считаются зонами возможной локализации солевых пальцев, и (по измеренному перепаду температуры и плотностному отношению) потоки в них рассчитываются по известным лабораторным соотношениям:

1) вертикальный поток плавучести за счет соли  $\beta F_S$  прямо пропорционален перепаду солености  $\Delta S$  через прослойку, содержащую СП, в степени  $4/3$  ("закон  $4/3$ "):

$$\beta F_S = C (g k_T)^{1/3} (\beta \Delta S)^{4/3} \quad (1)$$

Эмпирический численный коэффициент пропорциональности  $C$  зависит от плотностного соотношения

$$R = \alpha T_Z / (\beta S_Z)$$

( $\alpha$  и  $\beta$  - коэффициенты теплового расширения воды и уплотнения за счет солености,  $T_Z$  и  $S_Z$  - вертикальные градиенты температуры и солености соответственно) и может быть аппроксимирован выражением

$$C = 0.05 + 0.3 \cdot R^{-3}$$

2) суммарный поток плавучести  $F_D$ , обусловленный переносом по вертикали тепла и соли, прямо пропорционален градиенту температуры внутри прослойки:

$$F_D = A \nu \alpha T_Z \frac{R-1}{R} \quad (2)$$

где  $\nu$  - коэффициент молекулярной вязкости,  $A$  - параметр Стерна, принимающий (по данным лабораторных экспериментов) значения от 1 до 4.

3) отношение вертикальных потоков тепла и соли

$$\gamma = \alpha F_T / (\beta F_S)$$

является убывающей функцией  $R$ , принимает значения в интервале  $0 < \gamma < 1$  и может быть аппроксимировано теоретической формулой [19]:

$$\gamma = R(1 - \sqrt{1 - 1/R})$$

На основе массового статистического материала доказывается применимость к зонам "возможной локализации" солевых пальцев лабораторных законов (1, 2). Рассмотрены пределы этой применимости. Для этих зон по STD-данным "Комплекс-1", полученным в области ступенчатого расслоения океана ( $10^{\circ} \div 11^{\circ}$  с.ш.,  $53^{\circ} \div 54^{\circ}$  в.д.), приведены основные среднестатистические характеристики солевых пальцев.

В заключении приводятся основные результаты и выводы выполненных исследований:

1. На основе предложенной методики создания стратифицированных растворов получена передаточная функция отклика контактного четырехэлектродного датчика электропроводности макета прибора "Комплекс-1М".

2. Предложены способы уменьшения динамических ошибок расчетов солености, плотности морской воды на аппаратурном уровне, а именно:

а) совмещение датчиков температуры и электропроводности в едином проточном корпусе;

б) введение в измерительную цепь канала электропроводности схемы временной задержки;

в) использование в качестве измерителя температуры распределенного в направлении потока контактного датчика.

3. Для STD-систем предложена и внедрена процедура поиска значений коэффициентов для цифровой фильтрации исходных данных каналов температуры и электрической проводимости, обеспечивающих динамическую коррекцию.

4. На основе лабораторных опытов получен новый результат, свидетельствующий о том, что в условиях ступенчатой стратификации конвекция солевых пальцев может приводить к возникновению в квазиоднородных слоях упорядоченных вихревых структур. Описаны пространственно-временные характеристики этих вихрей.

5. Предложена и внедрена методика проведения частых серий зондирований в интересующем диапазоне глубин приборами, свободно скользящими вдоль нагруженного кабель-троса, типа "Комплекс-1" и "Комплекс-1М".

6. На основе частых серий зондирований, выполненных

прибором "Комплекс-1М", получены новые данные об особенностях поведения ступенчатых структур в области фронтальной зоны Межпассатного противотечения. Показано, что

а) однородные слои в ступенчатой структуре могут прослеживаться поперек всей фронтальной зоны;

б) внутри фронтального раздела возможны горизонтальные движения верхней части каждого "квазиоднородного" слоя относительно его нижней части. Существенную роль в обмене теплом и солью помимо двойной диффузии играет и турбулентность;

в) для периферийных областей фронтальной зоны характерно, по-видимому, наличие горизонтальных адвективных процессов и изопикнического перемешивания.

7. На основании обширного статистического материала доказана возможность применения к океанским STD-данным лабораторных законов (1, 2). Указаны пределы их применимости.

8. Для ступенчатых структур со стратификацией типа солевых пальцев предложен и внедрен алгоритм выделения зон "возможной локализации" солевых пальцев. Применительно к этим выделенным зонам на основе массового статистического материала, полученного по данным прибора "Комплекс-1" в районе "С-SALT", показано, что

а) значение потока плавучести  $qF_p = 2.2 \cdot 10^{-10}$  Вт/кг, рассчитанного по "закону 4/3", согласуется с известными оценками потока по измерениям скорости диссипации кинетической энергии в данном районе, что подтверждает применимость этого закона в океане;

б) вертикальный масштаб выделенных зон возможной локализации солевых пальцев  $h = 0,14$  м;

в) среднее значение параметра Стерна для этих зон

$$A = \beta F_p \{ \text{"закон 4/3"} \} (1 - \gamma) R / (\nu) (R - 1) \alpha T_E = 1,76.$$

Диссертация является обобщением работ, выполненных в рамках междуведомственного проекта "Микроструктура" общегосударственной комплексной программы исследования и использования Мирового океана на 1986-1990 годы и на перспективу до 2000 года (шифр 03.02 N 0187.0018093) и проекта "Диффузия" ОКП "Мировой океан" (шифр 01.13 N 0191.0043028).

**Основные научные результаты, включенные в диссертацию, опубликованы в следующих работах и изобретениях:**

1. Способ создания стратифицированных жидкостей для гидрофизических исследований // Авт. свид. N 1582088, БИ N 28, 1990 (совместно с Багимовым И. С. и Самодуровым А. С.).
2. Создание динамически невозмущенной границы раздела жидкостей // МГИ АН УССР. Севастополь, 1988. Депонир. в ВИНТИ N 3372-В88 (совместно с Багимовым И. С. и Самодуровым А. С.).
3. Исследования тонкой термохалинной структуры в североападной части Тропической Атлантики // В сб. Исследования вертикальной тонкой структуры гидрофизических полей в тропической и субтропической зонах Атлантики. 49-й рейс НИС "Михаил Ломоносов" МГИ АН УССР, 1989, деп. в ВИНТИ, N 378-В89 (совместно с Кирюшенко И. Г., Козловым А. Н., Кропиновым В. А., Кульшой О. Е., Новиковым Г. Д., Охотниковым И. Н.).
4. Методика исследования пространственной изменчивости термохалинных тонкоструктурных элементов малых масштабов // В сб.: Исследования вертикальной тонкой структуры гидрофизических полей в тропической и субтропической зонах Атлантики. 49 рейс НИС "Михаил Ломоносов". МГИ АН УССР, Севастополь, 1989, деп. ВИНТИ, N 378-В89 (совместно с Козловым А. Н., Кропиновым В. А.).
5. Вертикальные потоки тепла и соли в северо-западной части Тропической Атлантики // Труды III Всесоюз. научно-технической конференции "Вклад молодых ученых и специалистов в решение проблем океанологии и гидробиологии", Севастополь, 1988 (совместно с Козловым А. Н.).
6. Об уменьшении динамических ошибок расчета солености // Всесоюзная конференция "Проблемы стратифицированных течений", г. Канев, 1991 (совместно с Кульшой О. Е., Матвеевым А. В.).
7. Способ определения солености морской воды в реальном масштабе времени // Авт. свид. СССР (заявка N 4736476/25 - (116929) от 11.09.1989, положительное ре-  
АН України

шение от 25.02.1991) (совместно с Матвеевым А. В., Кульшой О. Е.).

8. Первичный измерительный преобразователь для определения солености морской воды в реальном масштабе времени // Авт. свид. СССР (заявка N 4741676/25 - (122127) от 29.09.1989, положительное решение от 25.02.1991) (совместно с Матвеевым А. В., Кульшой О. Е.).
9. Тонкая вертикальная структура на термохалинном фронте в области ступенчатого расслоения // Известия АН СССР. Сер. гидрофиз. ФАО. Т. 28. N. 12. С. 1218-1222 (совместно с Охотниковым И. Н.).
10. Тонкая вертикальная структура на термохалинном фронте в области ступенчатого расслоения // Всесоюзная конференция "Проблемы стратифицированных течений", г. Канев, 1991 (совместно с Охотниковым И. Н.).
11. Оценки тепломассопереноса, обусловленного конвекцией солевых пальцев в районе "C-SALT" // Всесоюзная конференция "Проблемы стратифицированных течений", г. Канев, 1991 (совместно с Пантелеевым Н. А., Козловым А. Н.).
12. Создание нелинейно-стратифицированных растворов в лабораторных экспериментах по двойной диффузии // В сб. Внутренние волны и турбулентность. Изд. МГИ АН УССР, Севастополь, 1984.
13. Структура квазиоднородных слоев в режиме солевых пальцев // "Актуальные проблемы океанологии". I Всесоюз. школа-семинар, Ленинград, 1987.
14. Вихревая конвекция в квазиоднородных слоях, обусловленная деятельностью солевых пальцев // "Микроструктура океана и турбулентность". Материалы III Съезда советских океанологов. Секция: Физика и химия океана. Ленинград, Гидрометеиздат, 1987.
15. Заметки по теории солевых пальцев // МГИ АН УССР. Севастополь, 1988. Депонир. в ВИНТИ N 5387-B88.
16. Вертикальные потоки тепла, соли, плавучести через прослойку, содержащую солевые пальцы // Труды IV Всесоюз. научно-технической конференции "Вклад молодых ученых и специалистов в решение проблем океанологии и

- гидробиологии", Севастополь, 1989.
17. Взаимодействие солевых пальцев и неоднородных сдвиговых потоков // "Вихри и турбулентность в океане" III Всесоюз. конференция, Светлогорск, 1990.
  18. Вертикальные потоки через прослойку, содержащую солевые пальцы // Труды III Всесоюз. симпозиума "Тонкая структура и синоптическая изменчивость морей и океанов", Таглинн, 1990
  19. Солевые пальцы в квазистационарном состоянии // Известия АН СССР. Сер. гидрофиз. ФАО. Т. 28. N. 9. С. 988-997.
  20. Методика исследования пространственной изменчивости термохалинных тонкоструктурных элементов малых масштабов // В сб. Исследования вертикальной тонкой структуры гидрофизических полей в тропической и субтропической зонах Атлантики. 49-й рейс НИС "Михаил Ломоносов" МГИ АН УССР, 1989, деп. в ВИНТИ, N 378-В89. (совместно с Коаловым А. Н., Кропиновым В. А.).
  21. Взаимодействие солевых пальцев и неоднородных сдвиговых потоков // "Актуальные проблемы океанологии". I Всесоюз. школа-семинар, Ленинград, 1987. (совместно с Кропиновым В. А.).
  22. Конвекция солевых пальцев в системе слоев и прослоек // Труды II Всесоюз. симпозиума "Механизмы генерации мелкомасштабной турбулентности в океане", Калининград, 1985. (совместно с Самодуровым А. С.).
  23. Примеры самоорганизации в системе с двойной диффузией // Всесоюзная конференция "Проблемы стратифицированных течений", г. Канев, 1991 (совместно с Самодуровым А. С.).
  24. Самоорганизующиеся линзы в системе с двойной диффузией (лабораторное моделирование) // Океанология, 1992, т. 32, вып. 4, С. 795-800 (совместно с Самодуровым А. С.).
  25. Кювета для гидрофизических исследований на границе раздела жидкостей // Авт. свид. СССР N 1317332, БИ N 22, 1987 (совместно с Самодуровым А. С., Багимовым И. С.).

165057

Ав 27.110  
Ав 27.110

ПОГРЕВНОЙ АЛЕКСАНДР ЕВТИХИЕВИЧ

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ТОНКОСТРУКТУРНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ  
И ВЕРТИКАЛЬНОГО ОБМЕНА В ОКЕАНЕ  
ПРИ НАЛИЧИИ СОЛЕВЫХ ПАЛЬЦЕВ

А в т о р е ф е р а т

---

Подписано в печать 10.09.92 г.

Формат бумаги 60\*90 1/16 Объем 1 уч. изд. л.

Заказ 363

Тираж 100 экз.

---

Отпечатано в ИПУ "ЭКОСИ - Гидрофизика"

335000, г. Севастополь, ул. Ленина, 28

---