

694

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ им. П.П.ШИРШОВА

*На правах рукописи*

Дмитрий Львович АЛЕЙНИК

**ГИДРОФИЗИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ДИНАМИКА  
СРЕДИЗЕМНОМОРСКИХ ЛИНЗ**

11.00.08 - океанология

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации  
на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

к

Работа выполнена:

в лаборатории климата океанов и морей  
Института океанологии им. П.П.Ширшова  
Российской академии наук

Научный руководитель:

доктор географических наук, профессор Е.А.Плахин

Официальные оппоненты:

доктор географических наук С.А.Добролюбов (МГУ)  
доктор физико-математических наук Г.И.Шапиро (ИО РАН)

Ведущая организация:

Государственный Океанографический Институт  
ГОИН Российского комитета по гидрометеорологии

Защита состоится " 2 " июня 1998 г. в " 14 " часов  
на заседании Специализированного совета К.002.86.02 в  
Институте океанологии им. П.П.Ширшова РАН по адресу:  
117851, Москва, Нахимовский пр-т, 36.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке  
Института океанологии им. П.П.Ширшова РАН

Автореферат разослан " 29 " апреля 1998 г.

Ученый секретарь  
Специализированного совета,  
кандидат географических наук

С.Г. Панфилова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### *Актуальность исследования*

В последние несколько десятилетий изучения океана произошло качественное изменение представлений о гидрофизической структуре слоя промежуточных вод (500-1500 м) повышенной солености (S) и температуры (T) северо-восточной Атлантики. Это связано с развитием теоретических исследований и совершенствованием инструментальной базы по сравнению с классическими работами первой половины XX века [Schott G., 1928; Wust G., 1935; Sverdrup H.U., 1942], в которых использовались преимущественно наблюдения с батометрами. Принятие на вооружение океанологии зондирующей аппаратуры, более совершенных измерителей течений на заякоренных буях, слежения за перемещением поплавков нейтральной плавучести, использование спутниковых снимков температуры поверхности океана и т.д. существенно расширяют возможности для количественного и качественного описания структуры этого слоя и степени его воздействия на многие факторы, определяющие трансформацию промежуточных вод северной части Атлантического океана.

Для анализа климатического воздействия адвекции вод Средиземного моря в настоящее время насущной необходимостью стало подробное гидрофизическое описание всех обнаруженных в океане структур, связанных с присутствием этих вод, и в первую очередь мезомасштабных антициклонических вихрей или средиземноморских линз, первые сообщения о которых относятся к концу 50-х годов. Эти внутритермоклинные образования играют, по-видимому, весьма значительную, а по некоторым оценкам, доминирующую, роль в процессах тепло-, соле- и массообмена в промежуточных слоях, что необходимо учитывать при расчетах суммарного теплового и солевого баланса океана и, как следствие, при оценках изменчивости климата.

В настоящей диссертационной работе осуществляется комплексный анализ линз и подобных им образований по наиболее полному из современных исторических массивов гидрологических данных в северо-восточной Атлантике, а так же систематизируется большая часть имеющейся сегодня информации об их географическом распространении по данным многочисленных экспедиций.

### *Цель и задачи исследования*

Целью данной работы является анализ воздействия средиземноморских линз на процессы тепло-соле-массообмена в промежуточных слоях северо-восточной части Атлантики и оценки их вклада

№ 3  
Библиотека

в изменчивость климата океана.

Для достижения этой цели сформулированы конкретные задачи, решение которых представлено в отдельных главах и параграфах диссертации.

Прежде чем приступить к анализу локальных аномалий распределения гидрофизических характеристик, которыми являются линзы, в рамках первой задачи необходимо было уточнить параметры фоновых условий промежуточного слоя вод северо-восточной Атлантики. Для этого были сделаны некоторые оценки, связанные с распространением "языка" средиземноморских вод по данным осредненных фоновых значений  $T$  и  $S$  на основе прямых измерений и современного климатического атласа NODC-94. Проанализированы вероятные причины некоторых расхождений с результатами работ В.А.Бубнова [1971] и В.И.Куксы [1983].

Второй задачей явилось выявление основных гидрофизических параметров и интегральных характеристик линз, их пространственной и временной динамики, их количества, типизации и классификации, а также географической локализации. Для этого был составлен обзор имеющихся в литературе сообщений об их обнаружении, а также специальных натурных исследований средиземноморских линз, сделана сводка доступной опубликованной информации о конкретных линзах.

Третья задача состояла в формировании наиболее полного и репрезентативного на сегодняшний день банка исторических данных гидрологических наблюдений, выполнявшихся в течение XX века на акватории северо-восточной Атлантики.

Четвертой задачей стала разработка методики анализа данных этого массива: выявления аномальных по солености и температуре станций, формулирование принципов выделения границ линз, необходимых для осуществления расчетов их основных интегральных гидрофизических параметров и сравнения линз на различных стадиях трансформации.

На основе анализа исторического массива данных, выборки станций, аномальных относительно фоновых условий в слое промежуточного максимума солености, предлагается решение пятой задачи - уточнение статистики обнаружения и плотности "упаковки" линзовых образований в Кадисском заливе, Иберийском и Канарском бассейнах, областях северного тропического антициклонического круговорота, района к северу от Азорского архипелага. Важной нерешенной задачей является оценка вероятности их обнаружения западнее Срединно-Атлантического хребта, тем самым оконтуривание географического

ареала распространения средиземноморских линз, и вероятных трасс их перемещений.

Проведенный анализ делает возможным решение шестой задачи - собственно определение роли линзовых структур в формировании промежуточного слоя повышенной солености за счет их диссипации и разрушения, вклада в суммарный (климатический) перенос тепла и соли в трансмеридиональном направлении в северо-восточной Атлантике. Для решения последней задачи была проведена разработка и усовершенствование методики объективного анализа данных гидрофизических съемок для исследования пространственно-временных гидрофизических характеристик океана вблизи линз; рассмотрены различные варианты применения изопикнического анализа вертикальной структуры вод в центре линз и их окрестностях.

Разработка этих методов анализа позволила на основании данных экспедиций осени 1993 г. подробнее рассмотреть на пути распространения слоя средиземноморских вод (СМВ) повышенной солености и связанных с ним линз воздействие зон фронтальных разделов - Северо-Атлантического течения, северной "жесткой" границы и его юго-восточной ветви, Азорского течения, являющегося "полупроницаемой" границей.

Эти методики также применялись при анализе образования линз в устьях каньонов испано-португальского континентального склона по результатам комплексных исследований 1988 г.

Рассмотрены возможности идентификации вероятного района генерации линз по количеству взвеси в их ядре и их разделения и классификации на линзы "открытого океана" и "каньонные".

### *Научная новизна*

Поиск следов вихревых линз в исторических массивах данных проводился ранее на основе существенно меньшего количества фактов. Впервые используемый наиболее полный из имеющихся в мировой практике массив наблюдений позволил получить результаты, не имеющие в настоящее время аналогов.

■ Прежде всего, к ним следует отнести выявление и локализацию станций со значимыми аномалиями по солености и температуре относительно рассчитанного фонового их распределения, расположенных, за некоторыми исключениями, в полосе, ориентированной от района-источника на юго-запад в виде "хвоста кометы", что находится в соответствии с имеющимися представлениями о направлении перемещения линзовых структур в Атлантическом океане.

■ На этой основе, полученной с использованием оригинальных мето-

дов и тщательного отсеивания повторных и "не линзовых" станций, выполнено оконтуривание географического ареала распространения линз.

- Проведен анализ трансформации интегральных тепловых, соленостных и энергетических характеристик по пространству, в границах, выделенных по усовершенствованной универсальной методике изопикнического анализа, их связи с расстоянием до наиболее вероятного района их генерации - Кадисского залива.
- Получены реальные свидетельства о существенном климатическом вкладе линзовых структур в формирование промежуточного слоя повышенной солености за счет их диссипации и разрушения, что является принципиально новым подходом к пониманию гидрофизической структуры вод северо-восточной Атлантики.
- На основе проведенного анализа материалов российской и французской экспедиций 1993 г. в Азорской фронтальной зоне показано, что эта зона является не только южной границей распространения ядра СМВ, но и "полупроницаемой границей" для проникновения линз в центральную часть Канарской котловины и субтропическую Атлантику.
- Впервые проанализированы реальные свидетельства и качественно описаны механизмы поступления вод повышенной солености и температуры на средние глубины океана. Установлено образование узкой внутримассовой фронтальной зоны с колоссальными горизонтальными градиентами гидрофизических характеристик, сопровождающих генерацию средиземноморских вихревых линз в устьях каньонов континентального склона на севере Кадисского залива.

#### *Практическая ценность*

В работе предложены новые количественные и качественные оценки роли мезомасштабных средиземноморских линз в формировании и поддержании климатического максимума солености и температуры в промежуточном слое вод северо-восточной Атлантики. Предложена методика оценки вклада компактных, но весьма существенных в общем балансе тепла, солей, массы и энергии, вихревых внутритермоклинных образований в моделях циркуляции и динамики океана, в том числе и прогностических, становится необходимым.

Разработанные методы объективного анализа данных гидрологических съемок и выявления аномалий тепло- и солесодержания вод могут быть применены (и уже успешно применялись) при оперативной обработке данных измерений в ходе экспедиций, планировании экспериментов и на последующих этапах изучения их результатов.

Полученные в результате анализа обширного фактического материала карты и схемы распространения средиземноморских линз также могут быть использованы при планировании и осуществлении морских экспедиционных исследований в этот район северной Атлантики.

#### *Апробация работы*

Основные результаты диссертации докладывались на семинарах Отдела крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы Института океанологии им. П.П.Ширшова Российской академии наук, Государственного океанографического института. По отдельным аспектам работы были представлены несколько сообщений на ежегодных конференциях EGS 1995-98 гг. и океанографическом симпозиуме CNES Биаррице в октябре 1997 г.

#### *Публикации*

Основные результаты диссертации изложены в 10 научных работах.

#### *Структура и объем работы*

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем работы составляет 215 страниц, включая текст на 115 страницах, 40 рисунков, 10 таблиц и списка литературы из 240 наименований, в том числе 168 на иностранных языках.

Автор приносит благодарность своему научному руководителю Е.А.Плахину за постановку задачи и постоянное внимание к работе; Ю.А.Иванову и Б.Н.Филошкину - за ценные советы в процессе ее реализации; коллегам из Института океанологии РАН и кафедры океанологии МГУ - за полезные методологические рекомендации и существенную помощь в пополнении базы гидрологических данных.

#### **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **Введении** обосновывается актуальность работы, формулируются основные цели и задачи исследований, научная новизна, а так же кратко изложена структура диссертации.

**ПЕРВАЯ глава** диссертации предствалает собой обзор литературы о промежуточном слое вод и встреченных в нем линз в северо-восточной части Атлантического океана с критическим анализом полученных выводов. Изложены методики расчетов фоновых полей T и S.

В **первом параграфе** содержится климатическое описание вод промежуточного слоя северо-восточной Атлантики по данным электронного атласа NODC-94 [S.Levitus,1982,1994]. Выявлены отличия этого Атласа от результатов исследований Г.Вюста (по данным 1872-1930 гг.), В.А.Бубнова (основанных на данных МГГ 1957-1962 гг.) и ряда других работ. При использовании в качестве климатического среднего

состояния гидрологических параметров в северо-восточной части Атлантического океана на его средних глубинах этот электронный атлас может быть приемлем. Вместе с тем, следует учитывать слишком высокую степень сглаживания в примененных для его создания алгоритмах. Это может привести, например, к “исчезновению” таких немаловажных и заметных черт гидрологической структуры океана, как наличие промежуточного максимума солености над и к западу от Срединно-Атлантического Хребта.

Рассматриваются вопросы возможной межгодовой изменчивости и колебаний горизонтальных границ, толщины, площади и объема средиземноморских вод, глубины залегания его ядра, верхней и нижней границ; флуктуации скорости и направления течений в промежуточном слое вод по наблюдениям, оценкам динамическим методом и современными моделям течений.

На основе данных прямых наблюдений XX в. рассчитаны массивы фоновых значений температуры и солености на стандартных горизонтах в промежуточном слое вод. Осреднение проводилось внутри  $2.5^\circ$ -х трапеций, так как при меньшем шаге расчетной сетки не вся рассматриваемая площадь обеспечена данными, а результаты отличаются незначительно; при большем шаге ( $3^\circ$ ,  $4^\circ$ ,  $5^\circ$ ) резко возрастает дисперсия. Была использована схема итераций с последовательным удалением наблюдений с отклонением свыше  $2\sigma$  от среднего, рассчитанного на предыдущем шаге. Итерации продолжаются до схождения  $S_{\text{фон}}$  и  $T_{\text{фон}}$  с рассчитанным предыдущим значением с точностью  $0.005$  psu и  $^\circ\text{C}$  соответственно.

Сравнение полученных карт с Атласом NODC-94 свидетельствует о весьма малых отличиях на большей части рассматриваемой акватории - в пределах  $\pm 0.02$  psu и  $\pm 0.2^\circ\text{C}$  почти на всех горизонтах, что заметно ниже средних стандартных отклонений SE для Северной Атлантики. По С.Левитусу,  $SE = \sigma \cdot N^{-1/2}$  равны  $0.11$  psu и  $0.45^\circ\text{C}$  на горизонте  $1000$  м,  $N$  - число наблюдений в пределах круга радиуса влияния

$R = 555$  км, среднее квадратическое отклонение  $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}}$ . Вместе

с тем, в северо-западной области (Нью-Фаундлендская банка) отличия в верхней части промежуточного слоя вод оказались существенны. Некоторое расхождение имеется и в районе к западу от Португалии, где по результатам проведенных расчетов фоновые воды чуть теплее (на  $0.4^\circ\text{C}$ ) и соленее (на  $0.04$  psu), чем показано в Атласе NODC-94.

Для решения вопроса о границах климатического распространения вод, обладающих промежуточным максимумом солености (ПМС) и определения его глубины были выявлены все станции, на которых этот максимум наблюдался. На рис.1. представлены значения солености на глубине ПМС по результатам осреднения на  $2.5^\circ$ -й сетке. Показана так же предполагаемая условная граница их распространения, проведенная по изохалине  $35.1$  psu.

Расчет полей максимальных солености и температуры ( $S_{\text{max}} \geq S_{\text{фон}} + \sigma$  и  $T_{\text{max}} \geq T_{\text{фон}} + \sigma$ ), осуществлялся на адаптивных сетках по схеме, предложенной в работах Г.И.Шапиро и С.Л.Мещанова [1995, 1997]. Этот подход позволил выявить районы квазинепрерывного распространения вод повышенной солености и температуры, прилегающие к району-источнику (Кадисскому заливу). Как полагают упомянутые авторы, распространение СМВ происходит здесь преимущественно в виде потоков, “струй”, и тесно связано с донной топографией.

Были построены и карты отклонений максимальных и фоновых полей:  $S_{\Delta} = S_{\text{max}} - S_{\text{фон}}$  и  $T_{\Delta} = T_{\text{max}} - T_{\text{фон}}$ . На огромной акватории океана, за пределами области, ограниченной изохалиной  $S_{\text{max}} > 36.0$  psu, встречается несколько пятен повышенных значений  $S_{\Delta} > 0.3$  psu (и  $T_{\Delta} > 1^\circ\text{C}$ ), которые указывают на районы, где воды СМВ проявлялись преимущественно в виде отдельных прослоев (линз).

Именно эта, дискретная, компонента в распространении СМВ и составляет предмет нашего дальнейшего исследования.

Во втором параграфе прослеживается эволюция представлений о вихревых линзах в северо-восточной Атлантике по мере накопления фактического материала в ходе ряда научных экспедиций. Кратко излагаются основные цели, задачи и результаты ряда проводившихся ранее специальных натурных исследований и экспериментов с линзами: выявленные особенности антициклонических (и нескольких циклонических) средиземноморских линз; приводятся основные гипотезы о механизмах и районах их генерации, трассах перемещений.

К средиземноморским линзам относят (суб-) мезомасштабные внутритермоклинные образования, которым свойственны следующие черты:

- Конфигурация их внешних границ на вертикальных разрезах солености и температуры напоминает двояковыпуклую линзу.
- Горизонтальные размеры линз - от  $20$  до  $150$  км, вертикальная протяженность редко выходит за пределы  $400 \div 800$  м.
- Квазиоднородное ядро линз, в котором отмечаются пониженные вертикальные градиенты и максимальные значения температуры и солености, локализуется на глубинах  $700-850$  и/или  $900-1300$  м -

т.е. в области пикноклина.

- Преимущественно встречается антициклонический тип вращения линз с орбитальными скоростями до  $25 \div 40 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$ , их максимум расположен на удалении от центра линзы в  $0.3 \div 0.5$  радиуса. Характерна небольшая скорость среднего переноса линз от 1 до 6 км в сутки ( $0.5 \div 4.5 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$ ).
- Значения аномалий относительно фона гидрофизических и гидрохимических характеристик в ядре линз, позволяют предполагать, что в них содержатся воды, сформированные на значительном удалении от места их обнаружения.

В третьем параграфе содержится наиболее полная сводка основной исходной информации о 114 линзах, имеющейся к настоящему времени в научной литературе. Ранее опубликованы несколько успешных исследований исторических массивов данных, в которых впервые были выявлены случаи возможного присутствия средиземноморских линз в количестве:

- 3, на основе NODC до 1972 г., Army L., Zenk W. [1984];
- 25, по французскому BNDO, Richardson P.L., McCartney M.S., Mailard C. [1991], из них по единичным профилям более половины;
- 22, по МЦД-Обнинск до 1991 г. и NODC до 1986 г., Шапиро Г.И., Мещанов С.Л. [1995, 1997], по единичным профилям - более 2/3.

В настоящем исследовании также составлены таблицы по литературным сообщениям, но не только с указанием названий судов, координат и дат обнаружения линз, аномалий по солености, как в упомянутых прежних работах. Эти сводные таблицы отличаются от предшествующих не только охватом существенно большего массива первичной информации, тщательный анализ которого подробно рассмотрен в Главе II. Они дополнены и данными измерений температуры, глубины и вертикальной протяженности максимальных аномалий S и T, и результатами расчетов основных гидрофизических параметров линз. По этой информации составлены карты с указанием географических районов их обнаружения и вероятных направлений перемещения. На рис.1. эти линзы помечены  $\Phi$ .

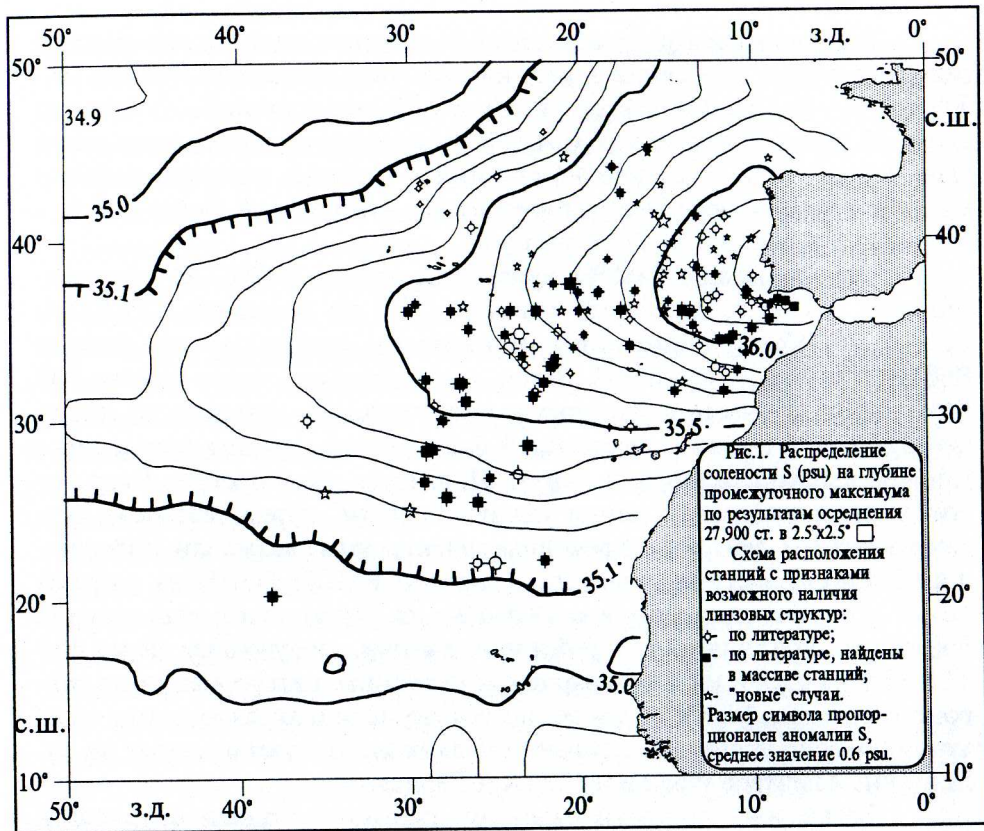
ВТОРАЯ глава диссертации посвящена описанию и анализу содержания наиболее полного массива натуральных наблюдений в северо-восточной части Атлантического океана и методик обработки его информации. Предлагаются критерии отбора аномальных по солености и температуре станций и выявления линз, уточняются их количественные параметры, географический ареал распространения.

В первом параграфе описывается исторический массив станций гидрологических измерений в северо-восточной Атлантике (район  $10^\circ - 50^\circ \text{с.ш.}$ ,  $50^\circ - 5^\circ \text{з.д.}$ ). Он состоит из более 69 тыс. станций, из которых около 29 тыс. достигают глубины 950 и более метров, где расположено ядро "языка" СМВ. Удаление 4% станций - "копий", заведомо ошибочных и с расстояниями между горизонтами наблюдений более 500 м - оставляет для анализа 27,891 станцию.

Основу массива (>80%) составляют данные NODC-94 с исправленными в 1996 г. массивами станций CTD на носителях CD-ROM. Вторым, по объему информации, источником является массив данных ВНИИГМИ-МЦД (Обнинск). Затем - значительное число рейсов ИО РАН 60-90-х гг., часть из которых автору пришлось извлекать из печатных архивов, и в этом существенной была помощь группы коллег лаборатории климата океанов и морей Института океанологии. Часть из этих уникальных данных автору удалось "спасти" путем переноса с ветхих магнитных лент на современные электронные носители информации. В состав массива включены и данные НИСП ГОИН на разрезах по  $36^\circ \text{с.ш.}$ , выполнявшихся в 1970-80-е гг. Кроме того, существенно пополнили коллекцию и зарубежные данные, полученные через INTERNET из открытых международных источников информации по гидрометеорологии, WOCE, а так же по обмену в рамках выполнения международных программ исследований и любезно предоставленных из ряда научных центров Франции, США и Германии.

Во втором параграфе изложены основы методики отбраковки и выборки станций для выявления существенных аномалий температуры и солености (свыше  $0.5^\circ \text{C}$  и  $0.3 \text{ psu}$ ) относительно рассчитанных фоновых (и среднеклиматических по атласу NODC-94) значений на горизонтах промежуточного максимума солености, интерполированных в точке с координатами, соответствующими каждой станции наблюдений. Глубина отбора проб, в особенности батометрами, может заметно отличаться от случая к случаю, поэтому профили T и S каждой станции интерполируются (для CTD станций - сглаживаются с помощью косинус-фильтра) через 20 м, с такой же дискретностью рассчитываются и фоновые профили; находится их наибольшая разность в слое максимума S (и T) на тех же горизонтах. Также обсуждаются проблемы идентификации рейсов в исторических массивах данных, выявления "пересечений" и повторяемости станций в разных источниках информации.

В третьем параграфе представлены результаты выборки аномальных станций и выявления среди них линз СМВ: визуализация 6.5 тыс.



Параметр	Ед.	Сокр.	Среднее
Аномалия солености в слое максимума S	psu	ΔS	0.552
Аномалия температуры в слое максимума T	°C	ΔT	1.958
Изопикническая аномалия солености	psu	S'	0.546
Изопикническая аномалия температуры	°C	T'	2.402
Толщина по изопикн. аномалии S'	м	HS'	936
Толщина по изопикн. аномалии T'	м	HT'	720
Интегр. по объему аномалия теплозапаса	10 <sup>18</sup> Дж	QT'	5.83
Интегр. по объему аномалия солезапаса	10 <sup>12</sup> кг	QS'	0.56
Объем в пределах S' > 0.1 psu	км <sup>3</sup>	VoL	1724
Верг. интегр. объемная плотность ДПЕ по Δσ <sub>сп</sub>	10 <sup>3</sup> Дж м <sup>-2</sup>	APЕ	5.48

Табл. 1. Средние значения гидрофизических параметров линз, рассчитанные по вертикальным профилям T и S в их центре.

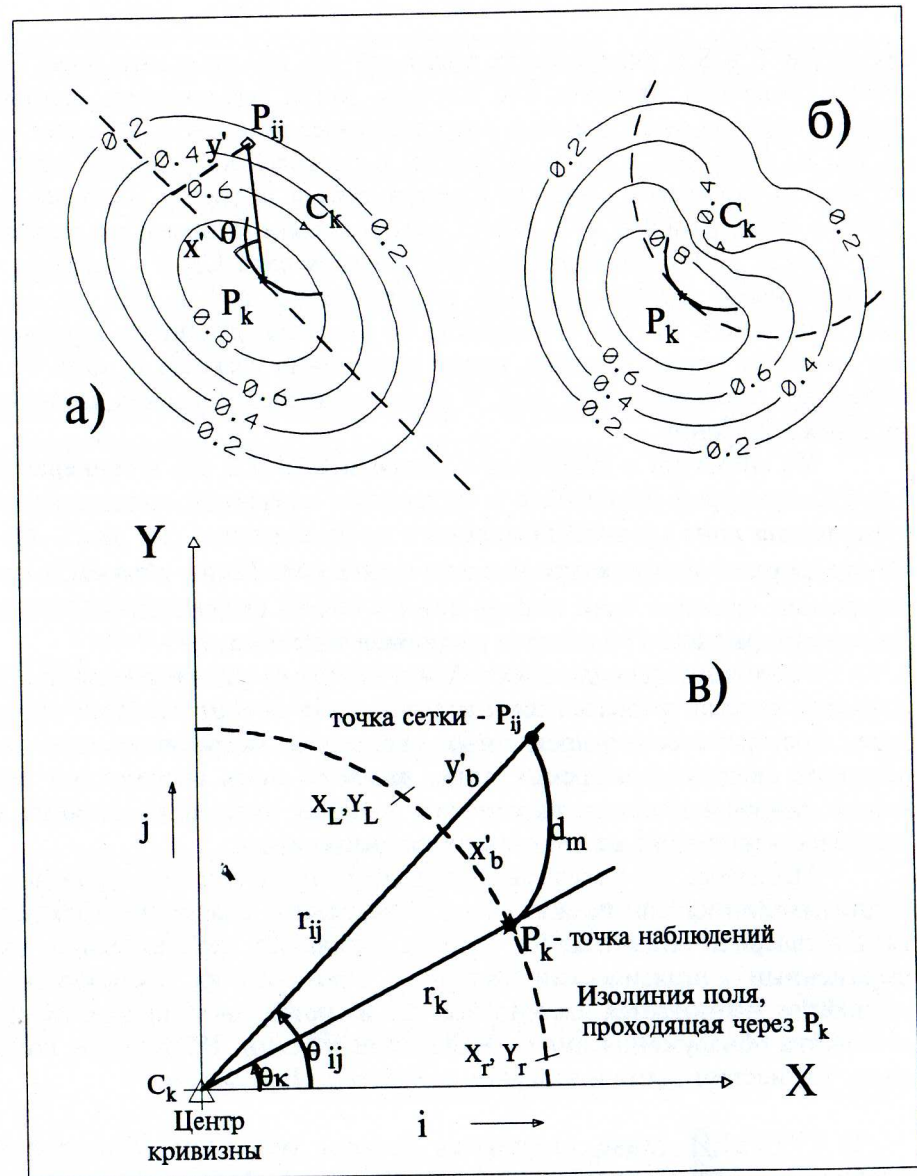


Рис.2. К объяснению методики объективного анализа §3.1. Распределение изолиний анизотропных весовых функций W<sub>s</sub>: а) эллипсовидной, б) банановидной. Основные параметры банановидной весовой функции (в).

профилей T и S в окрестностях аномалий (до 100 км в интервале 7-10 суток) позволила отобразить 400 случаев, когда наблюдались условия, указывающие на существенные и протяженные по высоте (не менее чем на 100 м) аномалии и по температуре, и по солености (свыше 0.5°C и 0.3 psu), в указанных пределах пространства и времени. Часть из них (130 - с отклонениями до 0.3÷0.35 psu) возможно относится к периферии области климатического распространения слоя СМВ - районам со значительными горизонтальными градиентами S и T и едва ли могут быть отнесены к линзам. Отсеивание не линзовых станций, верификация гипотезы осуществлялись путем построения разрезов и, если было возможно, горизонтальных карт, с использованием соседних квазисинхронных измерений.

Из аномалий в диапазоне солености 0.35÷1.2 psu и температуры 0.9÷4°C примерно 70 случаев в литературе считаются свидетельством присутствия линз средиземноморского происхождения (на рис.1. ■), а 64 случая ранее в литературе не встречались (☆). Таким образом, в распоряжении оказался банк информации в общей сложности о 178 линзах, из которых для 134 имеется цифровая информация.

Анализ многочисленных таблиц, диаграмм распределений и карт позволил составить целостное представление о вертикальной структуре, пространственно-временных вариациях гидрофизических параметров средиземноморских линз, выявить связь абсолютных аномалий гидрофизических параметров в ядрах линз и расстояния от наиболее вероятного источника их формирования.

Показано, что гипотезы о ведущей роли линз в формировании и подпитывании климатического слоя повышенной солености и температуры в северной Атлантике не лишены оснований; действительно, ярко выраженный климатический максимум солености на промежуточных горизонтах наблюдается именно там, где имеются многочисленные свидетельства обнаружения линз - Канарский бассейн, Иберийская котловина, Кадисский залив и западное побережье Португалии.

В ТРЕТЬЕЙ главе излагаются основы методики объективного анализа для линз, хорошо обеспеченных данными наблюдений, и предлагаются способы восстановления информации при ее дефиците. Обсуждаются результаты поиска и изопикнического анализа аномалий в историческом массиве данных, их географического ареала распространения и роли в формировании климатического промежуточного слоя повышенной солености в северо-восточной Атлантике. По материалам двух экспедиций ИО РАН (1988 и 1993 г.) рассматрива-

ются вопросы, связанные с климатическими гидрологическими "препятствиями" на пути распространения линз - Азорской фронтальной зоной, а так же механизмы генерации линз в районе континентального склона Кадисского залива.

**Первый параграф.** Для проведения изопикнического анализа следует рассчитать распределение гидрофизических полей в области линзы на основе объективного анализа (восстановления полей в узлах избранной регулярной сетки) по сглаженным косинус-фильтром с разрешением по вертикали 10-20 дбар профилям T и S. Показаны преимущества подхода к решению этой проблемы на основе применения "многовесовых" функций.

Схема решения этой задачи заключается в коррекции C(i,j) значений поля в узлах регулярной сетки, которым в начале присваивается значение "первого приближения" F(i,j) - равного ближайшему к этому узлу измерению.  $C(i,j) = \sum_{s=1}^N W_s^2 Q(i_s, j_s) / \sum_{s=1}^N W_s$ , где Q(i<sub>s</sub>,j<sub>s</sub>)=O(i<sub>s</sub>,j<sub>s</sub>)-

F(i,j), O(i<sub>s</sub>,j<sub>s</sub>) - остальные измерения в пределах радиуса влияния R, искомое значение поля G(i,j)=F(i,j)+C(i,j)

Коррекция осуществляется с помощью весовых функций W<sub>s</sub>∈[0,1], зависящих от соотношений между d<sub>m</sub> - расстоянием от узла (i,j) до точки наблюдений P<sub>k</sub> и R - радиусом влияния:

$$\begin{cases} W_s = \frac{R^2 - d_m^2}{R^2 + d_m^2}, & d_m < R \\ W_s = 0, & d_m \geq R \end{cases}$$

На первом этапе поле скалярных величин предварительно восстанавливается с помощью обычных круговых весовых функций, а для каждой точки измерений рассчитывается радиус и координаты центра кривизны изолинии, проходящей через нее.

При больших радиусах кривизны используется "эллипсоидная" весовая функция [в терминах Ceseleski B.F, Sapp L.L., 1975], для которой  $d_m = \left( \frac{x'^2}{E_k^2} + y'^2 \right)^{1/2}$  - "эффективное" расстояние от точки наблюде-

ний P<sub>k</sub> до узла сетки (i,j), x'=d<sub>ijk</sub>·cosθ, y'=d<sub>ijk</sub>·sinθ, θ - угол между касательной к изолинии поля, проходящей через P<sub>k</sub> (большой осью эллипса) и направлением вектора из (i,j) к точке наблюдений P<sub>k</sub>, d<sub>ijk</sub> - длина этого вектора. E<sub>k</sub><sup>2</sup>=1+βF<sub>k</sub> - параметр удлинения большой оси эллипса "влияния" вдоль касательной к изолинии поля, проходящей через точку наблюдений P<sub>k</sub>, β- постоянная удлинения, критическое значение F<sub>k</sub> подбирается эмпирически и зависит от отклонения значения поля в



в точке  $P_k$  от среднего, радиусов влияния и кривизны.

В качестве **весовой функции**  $W_s$  для проведения объективного анализа в областях высоких значений кривизны поля, т.е. в случае малых радиусов кривизны, используется "банановидная" функция [в терминах Benjamin S.G., Seaman N.L., 1985]:

$$\text{где } d_m^2 = \frac{r_k^2 (\theta_{ij} - \theta_k)^2}{E_k^2} + (r_k - r_{ij})^2 = \frac{x_b^2}{E_k^2} + y_b^2 - \text{"эффективное" рас-}$$

стояние от точки наблюдений  $P_k$  до узла сетки  $(i,j)$ ,  $r_k$  - радиус кривизны изолинии поля функции в точке измерений  $P_k$ ,  $r_{ij}$  - расстояние от центра кривизны  $C_k$  до точки сетки  $(i,j)$ ,  $\theta_{ij}$  - азимутальный угол, отсчитываемый в центре кривизны до точки сетки,  $\theta_k$  - азимутальный угол, отсчитываемый в центре кривизны до точки наблюдений,  $E_k^2$  - также параметр удлинения, см. рис. 2. При  $E_k \leq 4/3$  анизотропные весовые функции  $W_s$  оказываются близки к круговым.

Оценки качества восстановления поля в ходе численных экспериментов позволяют оптимально подобрать параметры, необходимые для расчетов, путем минимизации отклонений вычисленных и наблюдаемых значений. Улучшению восстановления способствуют и процедуры синхронизации исходных данных, устранения влияния внутренних и приливных колебаний - при наличии соответствующей информации о скорости вращения и дрейфа линзы, временного хода гидрофизических параметров.

Использование анизотропных весовых функций было удачным решением при изучении линзы холодных и относительно распресненных вод, обнаруженной летом 1994 г. в северо-западном Средиземноморье на глубинах 150-700 м, радиусом около 40 км. Это исследование было составной частью эксперимента по динамической акустической томографии линзы "Тома" с движущегося судна (нис "Ак. С.Вавилов", 10-й рейс) в рамках международной программы THETIS-II. В настоящей диссертационной работе эта методика применялась для расчета параметров нескольких линз в Атлантике.

Во **втором параграфе** описываются методика изопикнического анализа данных съемок, принятые в настоящей работе критерии для проведения границ и оценок интегральных характеристик отдельных линз.

Полученные с помощью объективного анализа распределения полей на всех горизонтах (обычно с вертикальным разрешением через 20 дбар на горизонтальных сетках  $M \times N$  узлов, в зависимости от размеров изучаемого "объекта", шаг сетки может быть от 1 до 15 км;  $M, N: 30 \div 50$ )

сравниваются с рассчитанными для района линзы "фоновыми" профилями гидрофизических параметров на уровнях равных плотностей и определяются их разности для каждой точки в пределах массива.

В качестве внешних границ линз избраны поверхности изопикнических аномалий 0.1 psu и 0.4°C, в большинстве случаев почти совпадающие друг с другом. Их выбор, в частности, определяется тем, что в диапазоне T,S-индексов СМВ вклад солёности в изменение плотности в четыре раза превосходит вклад температуры, т.е. для сохранения изопикнического равновесия необходимо, чтобы изменение S на 0.1 psu было компенсировано изменением T на 0.4°C.

Рассматривается возможность восстановления информации о гидрофизической структуре линз СМВ и при значительном ее дефиците - наличии малого числа и даже единичных станций наблюдений в их пределах. Это оказывается допустимым лишь при некоторых условиях: рассмотрении имеющегося профиля S (и T) как "центрального" для горизонтально-симметричной линзы, оценки динамически "минимально-возможного" радиуса из соображений циклогестрофического баланса [Шапиро Г.И., 1986], аппроксимации формы внешней поверхности "границы" линзы и распределения аномалии в ее пределах при помощи опробованных на многих примерах экспоненциальных функций (например "Гауссова монополя"). Этот подход позволяет найти "нижнюю" оценку интегральных параметров.

Проведено сопоставление результатов изопикнического анализа с применением различных его вариантов: по центральным профилям "линзовых" станций и с помощью объективного анализа данных съемок; использования в качестве основы для сравнения характеристик фоновых и линзовых вод плотности *потенциальной*  $\sigma_\theta$  и *in situ*  $\sigma_{stp}$ ; а также результатов, представленных в литературе.

Анализируются возможные причины некоторых расхождений в полученных оценках - обычно в пределах 5-25%, но в ряде случаев и выше. Они связаны с влиянием при выборе "фоновых" условий "термохалинного шлейфа" линз [Федоров К.Н., Пака В.Т., 1988]; критериев выделения границ; лучшим, при использовании объективного анализа, учетом вытянутости линз, связанной с  $\beta$ -эффектом, и т.д.

Итогом этих исследований стали оценки геометрических размеров, объема, массы, интегральных изопикнических аномалий тепло- и соледержания, изопикнического смещения в верхней и нижней части, вертикально-интегрированной доступной потенциальной энергии (ДПЕ) вихревых линз СМВ, их средних величин и отклонений впервые по столь внушительному их количеству (134), представлен

ные в таблицах, графиках, нанесенные на карты (см. табл.1. и рис.1.).

При том, что пространственные размеры - радиус, толщина, объем линз варьируются в широких пределах, интегральные аномалии содержания тепла и солей оказываются довольно близки и характеризуются величинами одного порядка. Выявлена связь значений интегральных аномалий в ядрах линз и удаления от района их формирования вблизи Кадисского залива, а так же их локализации преимущественно в области климатического максимума солености в промежуточном слое вод.

Фоновая плотность ДПЕ на средних глубинах в северо-восточной Атлантике не превышает  $2-5 \text{ Дж}\cdot\text{м}^{-3}$ , тогда как в верхней и нижней части внутритермоклинных линз она достигает десятков  $\text{Дж}\cdot\text{м}^{-3}$ . Значительный "запас" доступной потенциальной энергии линз способен поддерживать их многолетнее существование в отсутствии дополнительных источников энергии.

Проведенный по архивным данным статистический анализ оценок распределений вероятности обнаружения, концентрации и "плотности упаковки" линз в 22-х  $5^\circ$ -трапециях свидетельствует, что площадь океана занятая линзами варьируется от 0.5 до 5.3%, с тенденцией к росту в направлении района-источника. Для 9-ти наиболее "густонаселенных" линзами трапеций, где вероятность их обнаружения выше 1%, рассчитаны по Bunker A.F. и Worthington L.V. [1976] величины среднегодового прихода солнечной радиации  $8.3(\pm 1.6)\cdot 10^{21}$  Дж и бюджета тепла поверхности океана  $1.6(\pm 0.3)\cdot 10^{21}$  Дж.

Различные варианты расчета суммарного избытка тепла ( $\Sigma QT'$ ) в одновременно присутствующих здесь линзах ( $0.2(\pm 0.05)\cdot 10^{21}$  Дж) показывают, что он составляет уже заметную долю (10%) от годового бюджета тепла поверхности этой части океана, притом, что линзы занимают не более 2 % ее площади.

В третьем параграфе на основе изопикнического анализа данных экспедиций России (нис "Штокман", 31-й рейс, программы WOCE, "Фронты и вихри") и Франции (программа SEMAPHORE, R/V "Le Suroit") осени 1993 г., обосновывается связь высокой концентрации линз к северу от Азорской фронтальной зоны (АФЗ) и наличием в северной же части полигона WOCE AR-XI,  $31^\circ-36^\circ$  с.ш.,  $20^\circ-26^\circ$  з.д., повышенных значений промежуточных максимумов солености, и не редко температуры, как раз и формирующихся в результате адвекции СМВ и разрушения линз.

Азорское течение несет свои воды в восточном направлении со скоростями от  $25-30 \text{ см}\cdot\text{с}^{-1}$  у поверхности до  $12 \text{ см}\cdot\text{с}^{-1}$  на глубине 1200 м,

в струе, сужающейся от 80 км в октябре до 55 км в ноябре. Его геострофический расход определен в 15 Св [Иванов Ю.А., Филлюшкин Ю.Б., 1995], а абсолютный 25 Св. В октябре 1993 г. в восточной части полигона была обнаружена линза СМВ, северная периферия которой частично перекрывалась этим течением, а к ноябрю линза сместилась к югу от положения его оси. Радиус линзы составлял более 80 км, по вертикали она простиралась от 600 до 2200 м, ее объем в пределах изопикнической аномалии  $S' > 0.1$  оценивается в 26 тыс.  $\text{км}^3$ , а объем ядра, где  $S' > 0.4 \text{ psu}$ , более 6 тыс.  $\text{км}^3$ .

Анализ климатических (рассчитанных фоновых, и по Атласу NODC-94) и наблюдаемых вертикальных профилей, построенных карт и разрезов T и S показывает, что положение Азорской фронтальной зоны (АФЗ) на  $32^\circ-33^\circ$  с.ш. в области  $26^\circ-20^\circ$  з.д. совпадает с границей между северной и южной разновидностями средиземноморских вод, разделяемых по степени выраженности соленостного максимума (вертикальным градиентам, абсолютным, относительным величинам) и глубине его залегания.

Азорская фронтальная зона может являться не только южной границей для проникновения "северной" ветви или собственно "ядра" средиземноморских вод с более резким промежуточным максимумом солености, расположенным здесь выше 950 дбар, но и "полупрозрачной" границей для линз, так как часть из них (менее трети из трех десятков в пределах указанного полигона), судя по анализу исторических данных, были обнаружены южнее АФЗ, в том числе и линза 1993 г., отличавшаяся колоссальными размерами.

В четвертом параграфе разработанные в диссертации методы анализа применяются для рассмотрения процессов перемещения высокосоленых и теплых вод потока СМВ на средние глубины океана и связанного с этим формирования дипольных систем и собственно вихревых линз в устьях каньонов континентального склона на севере Кадисского залива, в частности, Портимао. Для этого привлекаются данные Российской и Американской экспедиций лета-осени 1988 г. на судах "Витязь", 16-й рейс, и "Oceanus", 202-й рейс.

Поступление теплых и соленых вод на промежуточные глубины океана обеспечивается за счет отрыва объемов вод от основного западного течения СМВ. Этот процесс происходит преимущественно в районах каньонов с крутыми склонами, разрезающих континентальный склон залива с севера на юг, в верховьях которых и возникают динамические условия, приводящие к генерации вдольканьонных течений. Эта возможность недавно подтверждена в лабораторных экспериментах А.Г.Зацепина [1997], с источником плотной жидкости над наклонным

ные в таблицах, графиках, нанесенные на карты (см. табл.1. и рис.1.).

При том, что пространственные размеры - радиус, толщина, объем линз варьируются в широких пределах, интегральные аномалии содержания тепла и солей оказываются довольно близки и характеризуются величинами одного порядка. Выявлена связь значений интегральных аномалий в ядрах линз и удаления от района их формирования вблизи Кадисского залива, а так же их локализации преимущественно в области климатического максимума солености в промежуточном слое вод.

Фоновая плотность ДПЕ на средних глубинах в северо-восточной Атлантике не превышает  $2-5 \text{ Дж}\cdot\text{м}^{-3}$ , тогда как в верхней и нижней части внутритермоклинных линз она достигает десятков  $\text{Дж}\cdot\text{м}^{-3}$ . Значительный "запас" доступной потенциальной энергии линз способен поддерживать их многолетнее существование в отсутствии дополнительных источников энергии.

Проведенный по архивным данным статистический анализ оценок распределений вероятности обнаружения, концентрации и "плотности упаковки" линз в 22-х  $5^\circ$ -трапециях свидетельствует, что площадь океана занятая линзами варьируется от 0.5 до 5.3%, с тенденцией к росту в направлении района-источника. Для 9-ти наиболее "густонаселенных" линзами трапеций, где вероятность их обнаружения выше 1%, рассчитаны по Bunker A.F. и Worthington L.V. [1976] величины среднегодового прихода солнечной радиации  $8.3(\pm 1.6)\cdot 10^{21}$  Дж и бюджета тепла поверхности океана  $1.6(\pm 0.3)\cdot 10^{21}$  Дж.

Различные варианты расчета суммарного избытка тепла ( $\Sigma QT'$ ) в одновременно присутствующих здесь линзах ( $0.2(\pm 0.05)\cdot 10^{21}$  Дж) показывают, что он составляет уже заметную долю (10%) от годового бюджета тепла поверхности этой части океана, притом, что линзы занимают не более 2 % ее площади.

В третьем параграфе на основе изопикнического анализа данных экспедиций России (нис "Штокман", 31-й рейс, программы WOCE, "Фронты и вихри") и Франции (программа SEMAPHORE, R/V "Le Suroit") осени 1993 г., обосновывается связь высокой концентрации линз к северу от Азорской фронтальной зоны (АФЗ) и наличием в северной же части полигона WOCE AR-XI,  $31^\circ-36^\circ$  с.ш.,  $20^\circ-26^\circ$  з.д., повышенных значений промежуточных максимумов солености, и не редко температуры, как раз и формирующихся в результате адвекции СМВ и разрушения линз.

Азорское течение несет свои воды в восточном направлении со скоростями от  $25-30 \text{ см}\cdot\text{с}^{-1}$  у поверхности до  $12 \text{ см}\cdot\text{с}^{-1}$  на глубине 1200 м,

в струе, сужающейся от 80 км в октябре до 55 км в ноябре. Его геострофический расход определен в 15 Св [Иванов Ю.А., Филлюшкин Ю.Б., 1995], а абсолютный 25 Св. В октябре 1993 г. в восточной части полигона была обнаружена линза СМВ, северная периферия которой частично перекрывалась этим течением, а к ноябрю линза сместилась к югу от положения его оси. Радиус линзы составлял более 80 км, по вертикали она простиралась от 600 до 2200 м, ее объем в пределах изопикнической аномалии  $S' > 0.1$  оценивается в 26 тыс.  $\text{км}^3$ , а объем ядра, где  $S' > 0.4 \text{ psu}$ , более 6 тыс.  $\text{км}^3$ .

Анализ климатических (рассчитанных фоновых, и по Атласу NODC-94) и наблюдаемых вертикальных профилей, построенных карт и разрезов T и S показывает, что положение Азорской фронтальной зоны (АФЗ) на  $32^\circ-33^\circ$  с.ш. в области  $26^\circ-20^\circ$  з.д. совпадает с границей между северной и южной разновидностями средиземноморских вод, разделяемых по степени выраженности соленостного максимума (вертикальным градиентам, абсолютным, относительным величинам) и глубине его залегания.

Азорская фронтальная зона может являться не только южной границей для проникновения "северной" ветви или собственно "ядра" средиземноморских вод с более резким промежуточным максимумом солености, расположенным здесь выше 950 дбар, но и "полупрозрачной" границей для линз, так как часть из них (менее трети из трех десятков в пределах указанного полигона), судя по анализу исторических данных, были обнаружены южнее АФЗ, в том числе и линза 1993 г., отличавшаяся колоссальными размерами.

В четвертом параграфе разработанные в диссертации методы анализа применяются для рассмотрения процессов перемещения высокосоленых и теплых вод потока СМВ на средние глубины океана и связанного с этим формирования дипольных систем и собственно вихревых линз в устьях каньонов континентального склона на севере Кадисского залива, в частности, Портимао. Для этого привлекаются данные Российской и Американской экспедиций лета-осени 1988 г. на судах "Витязь", 16-й рейс, и "Oceanus", 202-й рейс.

Поступление теплых и соленых вод на промежуточные глубины океана обеспечивается за счет отрыва объемов вод от основного западного течения СМВ. Этот процесс происходит преимущественно в районах каньонов с крутыми склонами, разрезающих континентальный склон залива с севера на юг, в верховьях которых и возникают динамические условия, приводящие к генерации вдольканьонных течений. Эта возможность недавно подтверждена в лабораторных экспериментах А.Г.Зацепина [1997], с источником плотной жидкости над наклонным

дном и поперечным желобом с крутыми стенками.

Данные экспедиций 1988 г. выявляют характерную неравномерность отрывов порций СМВ от основного течения, как по частоте повторяемости события, так и по объему поступающей в каньоны воды.

К формированию *мелководных* линз с ядром на горизонтах 800 м и имеющих толщину 200-300 м может привести отрыв *небольших объемов* вод на глубине порога устья каньона, вследствие “закручивания” образовавшейся струи, двигающейся со значительной ( $>20 \text{ см}\cdot\text{с}^{-1}$ ) скоростью и обладающей большим импульсом.

В случае поступления *больших объемов* СМВ происходит стекание более соленых вод ( $>36.5 \text{ psu}$ ) и возникает внутримассовый фронт с окружающими водами с горизонтальными градиентами в передней его части до  $0.1 \text{ psu}\cdot\text{км}^{-1}$ . Образовавшиеся ВТЛ, прилегающие к континентальному склону в устье каньонов, сохраняют возможность приема *дополнительных порций* материнских вод в результате последующих «впрыскиваний» по каньону. Именно эта многократность поступления вод может приводить к формированию крупных, многоядерных по вертикали линз.

В августе 1988 г. на выходе из устья каньона Портимао с борта нис “Витязь” была обнаружена линза в стадии завершения формирования. За месяц она сместилась на 50 км к юго-западу, где вновь была локализована [Prater M., 1992]. Ее параметры: два ядра - на глубинах 1050 и 1300 м, общая вертикальная протяженность около 600 м, горизонтальные размеры - 25 и 35 км, объем  $500 \text{ км}^3$  в пределах изопикнической аномалии  $S' > 0.1 \text{ psu}$ . При ширине потока СМВ 30 км, толщине 0.4 км и скорости  $0.2 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  на формирование такой линзы потребуется 2-2.5 дня.

Поступление вод с материкового шельфа и континентального склона по дну каньонов с интенсивным потоком должно приводить к увеличению в них содержания взвеси, мелкодисперсная фракция которой может сохраняться в ядре антициклонических линз длительное время. Косвенно на это указывает значимый максимум показателя ослабления света  $\epsilon\lambda$  именно на глубине залегания ядра в нескольких линзах, обнаруженных в 1988 г. В связи с этим появляется возможность идентификации вероятного района генерации линз по количеству взвеси в ядре и их классификации на линзы “открытого океана” и “каньонные”, что требует систематического проведения экспериментальных натуральных исследований

В ЗАКЛЮЧЕНИИ сформулированы основные научные результаты, полученные в диссертационной работе:

1. При использовании электронного климатического одноградусного атласа С.Левитуса (NODC-94) в качестве климатического среднего состояния гидрологических параметров в северо-восточной части Атлантического океана на его средних глубинах следует учитывать слишком высокую степень сглаживания в примененных для его создания алгоритмах. Проведен самостоятельный расчет фоновых и максимальных полей температуры и солёности, и их аномалий, по данным прямых измерений за весь период XX в. Это позволило расширить и дополнить географию тех областей, где мезо-масштабная структура средиземноморских вод повышенной температуры и солёности носит преимущественно квазинепрерывный характер, и выявить районы, где СМВ чаще проявляется в виде дискретных, изолированных прослоек и линз.
2. Проведенный анализ объединенного массива гидрологической информации в северо-восточной Атлантике, содержащего более 69 тыс. станций, из которых около 28 тыс. достигают глубины промежуточного максимума солёности, позволил существенно восполнить сведения о 70 средиземноморских линзах, известных по прежним научным публикациям. Были выявлены еще 64 линзы (часть из них - предположительно - линзы), о которых ранее не сообщалось.
3. Банк информации о 178 линзах позволяет составить целостное представление о географическом ареале их обнаружения. Выявлена связь значений гидрофизических характеристик, интегральных аномалий в ядрах линз и удаления от района их формирования - вблизи Кадисского залива. Сопоставление карт показывает, что линзы встречаются в области распространения “языка” средиземноморских вод, причем в своем большинстве они сосредоточены в районе именно его климатического максимума.
4. Разработанные методы объективного анализа данных измерений гидрофизических съемок вместе с модификациями методов изопикнического анализа позволили по единой схеме проанализировать имеющиеся данные и прийти к принципиально важным заключениям о существенном вкладе линз в горизонтальный тепло- и солёперенос в промежуточных слоях. Получены некоторые количественные оценки, полезные при изучении и анализе климатической изменчивости северной части Атлантического океана.
5. Выяснена роль Азорской фронтальной зоны - южной “полупрозрачной” границы на пути распространения средиземноморских вод, обладающих к северу от нее более резко выраженным

промежуточным максимумом солености (и температуры). Преодоление этой границы, проникновение в центральную Атлантику, по видимому, возможно лишь для самых крупных линз, одна из которых и была обнаружена к югу от АФЗ в 1993 г.

6. Представлены фактические данные о существенной роли каньонного механизма генерации средиземноморских линз в районе континентального склона в Кадисском заливе. Этот механизм позволяет объяснить наличие в ядрах некоторых линз регистрируемого гидрооптическими измерениями максимума мутности, связанного, вероятно, с присутствием взвеси, мелкодисперсные фракции которой могут сохраняться в них и на значительном удалении от района - источника.

*Основные результаты диссертации опубликованы  
в следующих работах:*

1. Алейник Д.Л. Структура и динамика средиземноморской линзы и Азорской фронтальной зоны осенью 1993 г. // *Океанология*, 1998, т. 38, N 3, с.
2. Годин О.А., Буренков С.В., Михин Д.Ю., Молчанов С.В., Селиванов В.Г., Чепурин Ю.А., Алейник Д.Л. Эксперимент по динамической акустической томографии в западной части Средиземного моря // *Доклады Академии Наук*, 1996, т. 349, N 3, с. 398-403.
3. Aleynik D.L., Godin O.A., Mikhin D.Yu., Plakhin Eu.A. Submerged mezoscale low saline and low temperature eddy in the north-western Mediterranean // *Annales Geophysicae*, 1995, Suppl. II to vol. 13, P. II, C. 221.
4. Aleynik D.L., Plakhin Eu.A. Identification of meddies in NE-Atlantic by historical data // *Annales Geophysicae*, 1997, Suppl. II to vol. 15, P. II, p. 361.
5. Ivanov Yu.A., Filyushkin Yu.B., Plakhin Eu.A., Aleynik D.L. Experimental franco-russian observation of meddy located in Azores front location // *Annales Geophysicae*, 1997, Suppl. II to vol. 15, P. II, C. 365.
6. Mikhin D., Aleynik D., Burenkov S.V., Chepurin Yu.A., Selivanov V.G., Molchanov S.Ya, Godin O.A. Acoustic footprints of an inter-thermocline eddy: field experiment and numerical simulations // *Journal of the Acoustical Society of America*, 1995, vol. 97, N 5, Pt. 2, pp. 3264A-3265A.
7. Mikhin D., Aleynik D., Burenkov S.V., Chepurin Yu.A., Selivanov V.G., Molchanov S.Ya, Godin O.A. Moving ship tomography experiment in the Western Mediterranean // *Journal of the Acoustical Society*

of America, 1995, vol. 97, N 5, Pt. 2, p. 3264A.

8. Plakhin Eu.A., Aleynik D.L. The meddy hydrophysical structure investigation in Canary Basin with their identification by the region of formation // *Annales Geophysicae*, 1996, Suppl. II to vol. 14, P. II, C. 403.
9. Plakhin Eu.A., Aleynik D.L. The meddy identification in NE-Atlantic according the region of formation using the sound dispersive layers position // *Annales Geophysicae*, 1997, Suppl. II to vol. 15, P. II, C. 370.
10. Plakhin Eu.A., Filyushkin B.N., Aleynik D.L. Experimental study of meddy's dipole lens formation near Morocco continental slope // *Annales Geophysicae*, 1997, Suppl. II to vol. 15, P. II, C. 370.