

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

Бис 1 ЭКЗ

На правах рукописи

АЛЛАХВЕРДОВА ТАТЬЯНА СЕРГЕЕВНА
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ
ВОДЫ И ТЕЧЕНИЙ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ

(11.00.08 - океанология)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва - 1982

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

Научные руководители: член-корреспондент АН СССР, доктор
физико-математических наук
А.С. Саркисян
кандидат физико-математических наук
Ю.Л. Демин

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук
Г.К. Коротяев
кандидат физико-математических наук
А.И. Передерей

Ведущая организация: Государственный океанографический инсти-
тут

Автореферат разослан "6" января 1983 г.

Защита состоится "8" февраля 1983 г. в 14 ча-

сов на заседании  совета К 002.86.02 по

присуждению учен

логии им. П.П. Ш

23)

С диссертаци

океанологии им.

Ученый секретарь

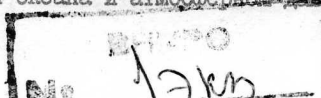
Специализирова
кандидат геогр

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Насущные потребности человечества в использовании природных ресурсов, предсказания изменений климата и улучшения качества долгосрочных гидрометеорологических прогнозов ускорили в последние два-три десятилетия исследования океана и атмосферы. В настоящее время становятся необходимыми количественные критерии состояния и изменения океана и атмосферы. Все острее ощущается необходимость перехода от описательных методов изучения процессов в океане и атмосфере, значение которых бесспорно при становлении наук, к количественным критериям и оценкам. На этом пути понятно значение и преимущество термогидродинамического моделирования.

Важное значение имеют задачи конкретного моделирования океанической циркуляции, позволяющие получать поля течений и других гидрофизических характеристик с учетом фактических данных и геометрии бассейнов (диагностические и полудиагностические задачи). Одной из трудностей, стоящей на пути прогноза морских течений, является проблема начальных условий. В то же время к настоящему моменту накоплен большой фактический материал наблюдений над температурой поверхности океана и атмосферным давлением на уровне моря. Эту информацию естественно использовать при моделировании изменений температуры воды и течений в океане.

Цель работы. Целью настоящей работы является численное моделирование и анализ структуры крупномасштабных течений и поля температуры в океане (на примере Северной Атлантики), а также разработка методики гидродинамического прогноза течений в океане с использованием фактической информации о полях температуры на поверхности океана и атмосферном давлении на уровне моря.



Прогнозирование по гидродинамической модели требует подготовительной работы — диагностических расчетов и расчета начального состояния. Исходя из этого, были поставлены и реализованы следующие задачи.

Основные задачи исследования. 1. Разработка линейной и нелинейной диагностических моделей крупномасштабных течений океана. 2. Анализ и подготовка для расчетов исходных полей температуры, солености, плотности, касательного напряжения ветра, а также рельефа дна океана. 3. Численные расчеты крупномасштабных течений Северной Атлантики и сравнение результатов, полученных на основе линейной и нелинейной моделей. 4. Разработка линейной и нелинейной прогностических моделей. 5. Разработка методики расчета начального состояния для пробных краткосрочных прогнозов (на 2-5 суток) температуры воды и течений в деятельном слое океана. 6. Численные расчеты и анализ структуры течений и поля температуры, полученных при реализации прогностических моделей.

Научная новизна. Впервые проведены расчеты и исследованы особенности крупномасштабной циркуляции вод Северной Атлантики по нелинейной диагностической модели на сетке с высоким разрешением (шаг по горизонтали 1° , число горизонтов 19).

Разработана методика расчета начального состояния для пробных краткосрочных прогнозов температуры воды и течений в океане.

Проведены численные эксперименты по краткосрочному прогнозу температуры воды и течений на основе линейной модели, основанной на методе расщепления по физическим факторам с использованием эйлерово-лагранжева подхода при расчете адвекции тепла. При реализации этих расчетов использовались данные фактической информации о полях температуры поверхности океана и

атмосферного давления на уровне моря, имеющиеся в Отделе морских гидрологических прогнозов Гидрометцентра СССР. Результаты указывают на необходимость учета адвекции тепла в краткосрочных прогнозах температуры воды и течений в океане.

Впервые разработана нелинейная прогностическая модель крупномасштабных полей течений и температуры воды в океане на базе уравнения дивергенции для уровня. Приведены конкретные примеры расчета температуры воды и течений рассматриваемого района Северной Атлантики по данным ШГЭП (ШИГАП) о температуре поверхности океана и атмосферном давлении на уровне моря, а также с использованием фактической информации об этих полях за летние месяцы, имеющиеся в Отделе морских гидрологических прогнозов Гидрометцентра СССР.

Практическое значение. Разработанные диагностические модели используются для получения информации о крупномасштабных течениях океана. Моделирование температуры воды и течений важно для ряда отраслей народного хозяйства (навигация, рыбный промысел и др.), для более углубленного представления о циркуляции вод рассматриваемого бассейна океана, для разработки методики гидродинамического прогноза течений в океане.

Результаты исследований могут быть использованы морскими подразделениями Государственного Комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды, в Институте океанологии им. П.П.Ширшова АН СССР, в Морском гидрофизическом институте АН УССР, при реализации задач по Национальной программе "Разрезь".

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались на семинарах Лаборатории динамики морских течений ИО АН СССР (1979, 1981), на научных семинарах и конференциях молодых ученых Гидрометцентра СССР (1978, 1979, 1982), Между-

народном семинаре-совещании по океанической продукции, обработке данных и системе обслуживания ОГССС (г. Москва, 1979), на Всесоюзной школе по экспериментальному и теоретическому изучению морских течений (г. Светлогорск, 1981).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Объем работы составляет *180* страниц машинописного текста, включая *63* рисунков и *7* таблиц. Список литературы содержит *99* наименований, *73* из которых на русском языке.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы, обсуждаются основные цели и задачи исследования. Приводится краткий обзор численных гидродинамических моделей, используемых для имитации крупномасштабных полей течений и температуры воды в океане. Дается краткая характеристика содержания диссертации по главам.

В первой главе дана общая постановка задачи о расчете гидрологических характеристик океана. При этом учитываются реальные океанографические особенности исследуемого бассейна (рельеф дна, береговые очертания и т.д.). Предлагаются две модели крупномасштабной циркуляции бароклинного океана - линейная и нелинейная в диагностическом и прогностическом вариантах.

В § 1 и § 2 рассматривается линейная модель крупномасштабной циркуляции океана. Исходная система уравнений и граничных условий выписана в традиционных приближениях на сферической Земле. Выводятся основные соотношения, используемые для расчетов. Численная схема основана на методе расщепления по фи-

зическим факторам (Марчук, 1974, 1977). Использовался эйлерово-лагранжев подход, развиваемый в работах (Сеидов, 1977, 1978; Саркисян, Сеидов, Семенов, 1978), эффективный при описании процессов адвекции.

§ 3 и § 4 посвящены разработке и численной реализации нелинейной модели бароклинного океана. Исходная система примитивных уравнений, с соответствующими начальными и граничными условиями, выписана в декартовой системе координат. В качестве интегральной функции используется уровень океана ζ . В отличие от уравнений для уровня в квазигеострофической модели (Саркисян, 1977), являющегося уравнением вихря, здесь используется уравнение для ζ , построенное с применением операции дивергенции к уравнениям движения. Оно имеет вид:

$$\Delta \zeta + \frac{1}{H} \frac{\partial \zeta}{\partial x} \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{1}{H} \frac{\partial \zeta}{\partial y} \frac{\partial \zeta}{\partial y} = -\frac{1}{\rho_0 H} \int_0^H (H-z) \Delta p dz - \frac{1}{\rho_0 H} \left(\frac{\partial H}{\partial x} \int_0^H \frac{\partial p}{\partial x} dz + \frac{\partial H}{\partial y} \int_0^H \frac{\partial p}{\partial y} dz \right) + \frac{\text{div} \vec{\tau}^{(e)}}{\rho_0 g H} - \frac{1}{g H} \int_0^H \left(\frac{\partial^2 u^2}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 uv}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 v^2}{\partial y^2} \right) dz + \frac{e}{g H} \int_0^H \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) dz - \frac{\beta}{g H} \int_0^H u dz + \frac{\text{div} \vec{\tau}^{(H)}}{\rho_0 g H} + \frac{A e}{g H} \left(\frac{\partial H}{\partial x} \Delta u \Big|_{z=H} + \frac{\partial H}{\partial y} \Delta v \Big|_{z=H} - \Delta w \Big|_{z=H} \right).$$

Здесь $\tau_x^{(H)} = \int_0^H (K \frac{\partial u}{\partial z})_{z=H}$, $\tau_y^{(H)} = \int_0^H (K \frac{\partial v}{\partial z})_{z=H}$ - компоненты придонного трения, $\beta = \frac{d\rho}{dy}$. Основные обозначения общеприняты.

Для решения задачи используется полуявная линейная схема, имеющая в целом первый порядок аппроксимации. Нелинейные слагаемые аппроксимируются направленными разностями. Решение задачи находится методом Гаусса-Зейделя.

При решении задач прогноза температуры воды и течений од-

ной из самых трудных является проблема начальных данных. В обозримом будущем возможно построение поля \mathcal{J} по спутниковым данным. Этого нельзя сказать о трехмерных полях скорости и температуры. Самыми доступными являются поля поверхностной температуры воды океана и атмосферного давления на уровне моря. Естественно использовать эту информацию при построении начальных данных. В § 5 предлагается решение проблемы построения начальных данных на основе системы уравнений, аналогичной прогностической, с некоторыми вариациями граничных условий. Глава 3 полностью посвящена этой задаче.

В § 6 приведена используемая параметризация процессов в верхнем квазиоднородном слое (ВКС) океана. При реализации ее использовалась идеология работ (Марчук и др., 1978; Кочергин и др., 1977). Следуя результатам этих работ, полагаем $\nu = \alpha_r = K$, а для нахождения K вместо решения уравнения для энергии турбулентности, используем модифицированную формулу Обухова (1946), где масштаб турбулентности пропорционален толщине ВКС (h_o);

$$K = (0.05 h_o)^2 \sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z}\right)^2 - \frac{g}{\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial z}}$$

В работе (Кочергин и др., 1977) показано, что применение этой формулы эквивалентно использованию уравнений для энергии турбулентной диссипации при шагах разностной сетки по вертикали $\Delta z_k > 1 \text{ м}$.

Во второй главе в § 1 дана общая постановка задачи диагностического расчета течений в океане. В § 2 дана краткая характеристика материалов наблюдений, используемых в расчетах. В качестве исходных использовались среднесезонные поля температуры и солености для летнего сезона (заданные в узлах 1^0 сетки на 31 горизонте), а также поле рельефа дна. Эти поля были подготовлены и любезно переданы Принстонским университе-

том (США) по договоренности о взаимном сотрудничестве. Плотность вычислялась по формуле Мамаева (1964). В качестве полей касательного напряжения ветра использовались поля Хелермана (1967), заданные в узлах 5° сетки, с последующей линейной интерполяцией их в узлы сетки 1° (в линейной модели), а также поля касательного напряжения ветра, вычисленные по формулам Акерблома по подготовленным в Гидрометцентре СССР полям атмосферного давления на уровне моря для летнего сезона (в нелинейной модели). В § 3, § 4 выписаны варианты (линейный и нелинейный) диагностических моделей. В § 5 дается анализ результатов расчетов и сравнение полей крупномасштабных течений, полученных по этим моделям.

Линейная модель описывает основные черты сезонной циркуляции. Имеются все основные особенности поверхностной циркуляции Северной Атлантики, в частности, мощный меандрирующий Гольфстрим, с четкой интенсификацией течений после прохождения мыса Гаттерас и раздвоение ее на две ветви в районе 45° з.д. (максимальная скорость течения 72 см/с), Лабрадорское (максимальная скорость - 20 см/с) и Восточно-Гренландское течения.

В качестве нелинейной диагностической модели была использована предложенная А.С.Саркисяном и Ю.Л.Деминным (1977) нелинейная модель расчета течений экваториальной зоны океана. Реалистичность результатов диагностических расчетов, выполненных нами для Северной Атлантики, на основе этой модели, указали на возможность применения ее и для умеренных широт океана. При реализации нелинейной модели уровень на границе задавался квазидинамическим методом (с нулевой поверхностью на дне *квазигеострофическим соотношением на уровне, рассчитанном* океана). Скорость на границе вычислялась по квазидинамическим методом с целью согласования граничных значений для уров-

ня и скорости течений. Серия численных экспериментов была выполнена для небольшого, но важного с гидрологической точки зрения района Северной Атлантики - на стыке струй Гольфстрима и Лабрадора ($28.5^{\circ} - 40.5^{\circ}$ с.ш., $67.5^{\circ} - 76.5^{\circ}$ з.д.) - назовем его тестовым районом. Цель экспериментов - выяснить влияние граничных условий на решение задачи внутри области. Расчеты, проведенные с заданием: а) нулевых значений скорости на границе; б) скорости, вычисленной квазидинамическим методом; в) скорости, полученной из решения полной задачи, показали, что в диагностических расчетах даже по нелинейной модели с учетом бокового обмена влияние границы существенно сказывается на первых двух-трех точках границы. Серия численных экспериментов, выполненных с варьированием A_L от 10^7 до 10^9 $\text{см}^2/\text{с}$, K от 1 до 100 $\text{см}^2/\text{с}$ и одновременная оценка баланса сил в уравнениях движения, показали, что наиболее реалистично выглядит картина крупномасштабной циркуляции при следующих значениях параметров: $A_L = 10^7$ $\text{см}^2/\text{с}$, $K = 10$ $\text{см}^2/\text{с}$. Полученная схема течений согласуется с современными взглядами на общую циркуляцию, представленными, например, в монографии Буркова (1980), но более детальная в силу малости шага сетки и большей полноты модели. Наблюдается общая интенсификация течений по сравнению с расчетами по линейной модели, что обусловлено в первую очередь разницей в величине K , равном 100 $\text{см}^2/\text{с}$ в линейной модели. Гольфстрим представляет собой сильно меандрирующий поток. Скорость течения во многих точках превышает 60-80 $\text{см}/\text{с}$.

Сравнение результатов диагностических расчетов, показыва-ет, что квазигеострофическая (Бреховских, 1981), линейная и нелинейная модели, реализованные с использованием разных численных схем дают качественно близкие результаты в верхнем деятельном слое океана. В глубинных слоях, однако, наблюдается

расхождение, особенно в поле ω , что обусловлено ошибками разностной аппроксимации, особенно существенными именно в глубинных слоях со слабым градиентом плотности, различной степенью согласованности уравнений моделей и разницей в гидродинамической полноте моделей.

Были проведены диагностические расчеты с переменным K . Введение параметризации ВКС сильно увеличило время расчетов на ЭВМ, в то же время в полученной картине течений не произошло существенных изменений. Поэтому в прогностических расчетах, с целью экономии машинного времени, K принималось постоянным.

В третьей главе в § I реализуется методика расчета начального состояния (ННС) для пробных краткосрочных прогнозов температуры воды и течений в поверхностном слое океана, как решение гидродинамической задачи, основанной на системе уравнений, аналогичной прогностической. При этом на поверхности океана задаются фактические распределения температуры воды и ветра. Проводится численный эксперимент на установление полей гидрологических элементов в деятельном слое океана для этих крайних условий на поверхности океана и климатическими значениями на боковой поверхности и дне. Этот эксперимент проведен для проверки работоспособности построенных моделей океана. Основное внимание уделялось проверке правильности описания вертикального профиля температуры. Применение предлагаемой процедуры имеет целью восполнение недостающей начальной информации и гидродинамическое приспособление трехмерных полей скорости и температуры. В дальнейшем для прогноза используются взаимно согласованные в деятельном слое океана начальные поля.

В § 2 дается краткая характеристика материалов наблюдений, используемых при реализации ННС, а также задачи прогноза. В качестве таковых использовались данные о поверхностной

температуре воды и атмосферном давлении на уровне моря, имеющиеся в Отделе морских гидрологических прогнозов Гидрометцентра СССР, и осредненные за 5 дней, а также данные ПГЭП (ПИГАП) о тех же полях, заданные в узлах сетки $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ с билинейной интерполяцией их в узлы сетки $1^{\circ} \times 1^{\circ}$.

В § 3 приводятся результаты численных экспериментов РНС. Эти эксперименты посвящены двум задачам, объединенным одной целью. Первая задача (выполнена на основе нелинейной модели). Для согласования климатических полей температуры и диагностических полей течений проведен следующий численный эксперимент. В узлах сетки $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ рассматриваемого района Северной Атлантики (от 24.5° с.ш. до 62.5° с.ш., который совпадает с районом исследований по программам "Разрез" и "Cage" (США) на 19 расчетных горизонтах (0, 5, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 300, 400, 500, 800, 1100, 1500, 2000, 3000 м) заданы климатические поля температуры, солёности и диагностические поля течений. Используя эти поля в качестве начальных, решается задача об эволюции полей температуры и течений. В результате такого расчета установлено, что при задании на границах исследуемого района климатических значений полей температуры и течений, в толще океана получается состояние, не сильно отличающееся от исходного климата, причем установление такого состояния в деятельном слое океана происходит за сравнительно короткий промежуток модельного времени (порядка 2 месяцев). Из сравнения климатических и рассчитанных таким образом полей температуры на разных горизонтах видно, что произошло небольшое сглаживание поля температуры. (Эти расчеты для тестового района были проведены на 1.5 лет модельного времени, а для Северной Атлантики - на 2 месяца). В то же время в рассчитанном поле температуры наблюдается сгущение изолиний и соответственно

интенсификация течений в районах с резким перепадом глубин (влияние топографии дна), например, в районе склона Гольфстрима. По оценке хода средней на горизонте кинетической энергии, видно, что на верхних горизонтах наблюдается некоторое усиление течений, а в глубинных — ослабление. Преимущество такого рода прогностических расчетов по сравнению с диагностическими в том, что в результате получаются гидродинамически согласованные поля температуры, течений, ветра и рельефа дна. Модель работает при реальных, не завышенных значениях $A_L = 10^7 \text{ см}^2/\text{с}$. Можно упомянуть, что у Брайена (1969) и Кокса (1975) расчеты проведены при сильно завышенных значениях $A_L = 8 \times 10^8 - 10^{10} \text{ см}^2/\text{с}$, что приводит к значительному занижению роли нелинейных эффектов и к сильно сглаженному полю температуры и полю плотности. Анализ результатов расчета показал, что наблюдавшаяся в отдельных точках инверсия в климатических полях температуры исчезает без применения специальной процедуры конвективного приспособления, применяемой Брайеном (1969).

Вторая задача (выполнена на основе линейной и нелинейной моделей). Проведены эксперименты с заданием фактической температуры поверхности океана и ветра. Следует отметить, что ветер существенно отличается от климатического (антициклоническая циркуляция над рассматриваемым районом Северной Атлантики). Бермудско-Азорский максимум смещен к юго-западу и возмущен фронтом, вторгающимся с северо-запада. Ветер сильнее климатического в районах севернее 45° с.ш.. Отличие температуры от климатической в некоторых точках достигает $2^\circ - 8^\circ\text{C}$, особенно в районе стыка струй Гольфстрима и Лабрадора, на остальной акватории разница температур лежит в интервале $0^\circ - 2^\circ\text{C}$. Таким образом, температура поверхности океана оказывается выше

или ниже, в пределах 0° - 8°C , чем на глубине 20-50 м. Как показали результаты расчетов уже через 20 дней модельного времени состояние океана соответствует устойчивой стратификации. Через 30-40 дней модельного времени наблюдается качественное соответствие рассчитанных и наблюдаемых полей температуры в пределах 100 метрового слоя. Сравнение с климатическими полями первой задачи, показывает, что поле температуры на верхних горизонтах существенно отличается от климатического. Ход изотерм в большей степени отражает распределение поверхностной температуры. Сильно изменяется поле течений в верхнем слое, обусловленное воздействием фактического ветра. Таким образом, начальное состояние рассчитано и задание временного хода на поверхности океана метеорологических элементов (P_a , T_a), позволяет перейти к задаче моделирования гидрологических элементов океанического бассейна по данным периодических съемок.

В четвертой главе в § 1, § 2 приведены конкретные примеры расчета температуры воды и течений в океане по данным периодических съемок с начальными условиями, полученными при реализации РНС. Изложены результаты численного эксперимента краткосрочного прогноза температуры воды и течений на основе линейной модели. РНС осуществлен по данным о температуре поверхности океана и атмосферном давлении на уровне моря за срок 1 - 5 июля 1978 г.. Моделируется прогноз на 6-10 июля. При этом считаем, что за это время не происходит теплообмена океана с атмосферой, что позволяет выяснить роль адвекции тепла в краткосрочном изменении искомых характеристик. На основе сравнения прогностических и наблюдаемых на этот срок полей температуры можно сделать вывод, что учет адвективных процессов приводит к быстрым изменениям поля поверхностной температуры. Это говорит о необходимости учета адвекции теп-

ла в краткосрочных прогнозах температуры воды и течений в океане. Такого же рода вывод сделан при реализации этой задачи с нелинейной моделью. Результаты таких расчетов дают возможность качественной оценки эволюции полей (например, сгущение изолиний температуры наблюдаемых полей и тенденция к сгущению в рассчитанных полях температуры). Однако, до количественных оценок далеко, т.к. в районах сильных градиентных течений величина ошибки близка к величине фактических изменений. Более перспективным является расчет гидрологических характеристик в глубинных слоях океана с использованием данных о поверхностной температуре воды и атмосферном давлении на уровне моря по данным периодических съемок. Данный подход может быть интерпретирован как слежение за эволюцией состояния океанической поверхности и глубинных слоев океана, осуществляемое по принципу адаптации моделируемых полей к наблюдаемым реальным полям, и в итоге к созданию динамико-стохастической модели океана.

Расчеты проведены по данным ПЭП (ПИГАП) по трем последовательным съемкам температуры поверхности океана (через каждые 48 час) и полям атмосферного давления на уровне моря через каждые 24 часа за сроки 17-18, 19-20, 21-22 июня 1979г. Ветер пересчитан по формулам Акерблома по полям ρ_a . Анализ поля температуры на поверхности океана за эти сроки показал, что в районе сильных струйных течений (Гольфстрим) изменчивость ее составляет $1^{\circ}-2^{\circ}\text{C}$, а на остальной акватории океана $0^{\circ}-1^{\circ}\text{C}$. РНС осуществлен по съемке поля поверхностной температуры и ветра за 17-18 июня 1979 г.. В дальнейшем в качестве начальных использовались прогностические поля. Анализ карт рассчитанных полей течений на поверхности океана показывает, что поверхностная циркуляция существенно отличается

ся от климатической, особенно в районах севернее 45° с.ш. - в области прохождения циклонов. Скорость течения здесь (Северо-Атлантическое течение) достигает 50 - 60 см/с (для сравнения - климатическая скорость около 15 см/с), т.е. сравнима со скоростью в Гольфстриме. Это можно объяснить двумя взаимосвязанными причинами: 1. постоянство коэффициента вертикального турбулентного обмена $K = 10 \text{ см}^2/\text{с}$ для всей области рассматриваемого бассейна (который в этих широтах для лета на порядок выше); 2. завышением значений тангенциального напряжения ветра, рассчитанного по формулам Акерблома при постоянных значениях K и коэффициента вертикального турбулентного обмена атмосферы вблизи морской поверхности. Сравнение карт течений и вертикальных профилей температуры, рассчитанных по этим съемкам, показало, большую изменчивость поля течений верхних горизонтов, обусловленную изменчивостью ветра. Причем при усилении ветра увеличивается глубина интенсификации течений (от 20 до 50 м) и наоборот. Изменения поля температуры за этот срок малы и распространяются не глубже 20-50 м. Сравнение рассчитанных вертикальных профилей температуры с наблюдаемыми за данный промежуток времени дает удовлетворительные результаты, что стимулирует дальнейшее развитие моделирования изменений температуры воды и течений в океане гидродинамическими методами.

Основные результаты работы заключаются в следующем:

I. Выполнены диагностические расчеты крупномасштабной стационарной циркуляции вод Северной Атлантики для летнего сезона по линейной модели с использованием метода расщепления по физическим факторам. При решении задачи методом установления это дает возможность выбора разных временных шагов для каждой подсистемы, а именно, в нашем случае - большой шаг по време-

ни $\Delta t = 5 \times 10^5$ с для подсистемы, описывающей медленный процесс адаптации полей течений под действием сил Кориолиса, давления и горизонтального турбулентного обмена импульсом, и более малый шаг $\Delta t = 2 \times 10^3$ с для расчета быстрого процесса приспособления поля течений к полю ветра, что приводит к существенной экономии машинного времени.

2. Впервые проведены расчеты и исследованы особенности крупномасштабной циркуляции вод Северной Атлантики по нелинейной диагностической модели. Реалистичность результатов расчетов, проведенных нами для Северной Атлантики (первоначально эта модель предназначалась для расчета течений в экваториальной зоне океана — А.С.Саркисян, Ю.Л.Демин (1977)), показала, что модель успешно работает в умеренных широтах океана при реальных, не завышенных значениях коэффициента горизонтального турбулентного обмена импульсом ($A_L = 10^7$ см²/с при шаге сетки в 1°).

3. Сравнение результатов расчетов течений, полученных по квазигеострофической (Бреховских, 1981), линейной (Аллахвердова, Семенов, 1980) и нелинейной (Аллахвердова, 1981) моделям показывает, что при расчетах крупномасштабной циркуляции эти модели, реализованные с использованием разных численных схем, дают качественно близкие результаты в деятельном слое океана.

4. Выполнены диагностические расчеты с переменным K . Для нахождения K использовалась модифицированная формула Обухова, с масштабом турбулентности, пропорциональном толщине ВКС. Важно отметить, что использование этой параметризации не приводит к существенному изменению результатов расчета даже в нелинейной диагностической модели (модели с обратной связью). Возможно, что в прогностическом варианте использование такой параметризации целесообразно.

5. Разработана методика расчета начального состояния для краткосрочного прогноза температуры воды и течений в океане.
6. Проведены пробные численные эксперименты краткосрочного прогноза температуры воды и течений в океане на основе линейной модели, основанной на методе расщепления по физическим факторам с использованием эйлерово-лагранжева подхода при расчете адвекции тепла. Показана важность учета адвективных процессов при краткосрочном прогнозе температуры воды и течений в верхнем слое океана.
7. Впервые для районов средних широт разработана численная прогностическая нелинейная модель бароклинного океана на основе уравнения дивергенции для уровня.
8. Нелинейная модель апробирована для задачи Дирихле и смешанной краевой задачи. Модель эффективно работает при незавышенных значениях коэффициентов горизонтального турбулентного обмена импульса и тепла (10^7 см²/с), и не требует применения специальной процедуры конвективного приспособления.
9. Впервые проведены конкретные расчеты температуры воды и течений Северной Атлантики, выполненные по данным ПГЭП (ПИГАП) о температуре поверхности океана и атмосферном давлении на уровне моря.

Основные результаты работы изложены в следующих публикациях:

1. О краткосрочном гидродинамическом численном прогнозе гидрологических элементов вод Северной Атлантики. - Межправительственная океанографическая комиссия, ВМО, Тезисы докладов Международного семинара-совещания по океанической продукции, обработке данных и системе обслуживания ОСОС, СССР, г. Москва, 2 - 6 апреля 1979 г., с. 16 (совместно с А.С.Саркисяном, К.П. Васильевым, Е.В.Семеновым).

2. On short-range hydrodynamic numerical prediction of hydrological elements of the North Atlantic waters.- Intergovernmental oceanographic commission, WMO, Seminar on oceanographic products and IGOS data processing and services system (IDPSS), Moscow, U.S.S.R., 2-6 April 1979, p. 1-5 (совместно с А.С.Саркисяном, К.П.Васильевым, Е.В.Семеновым).
3. Диагностические расчеты крупномасштабной стационарной циркуляции вод Северной Атлантики.- Труды Гидрометцентра СССР, 1980, вып. 221, с. 105-110 (совместно с Е.В.Семеновым).
4. Модель краткосрочного гидродинамического прогноза течений. Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана, 1980, т. 16, № 9, с. 939-946 (совместно с А.С.Саркисяном, Е.В.Семеновым).
5. О расчете температуры воды и течений в океане. - Депонирована в ИЦ ВНИГМИ-МЦД, 1981, 23 с..

А.С.Саркисян

60x90/16
Печ.л.2,0.

T-16207
Зак.67.

Подписано к печати 05.08.1982 г.
Тираж 150.

