

Бесплатно

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ТИТОВ
Юрий Эдуардович

УДК: 551.461

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА
ЭНТАЛЬПИИ ВОД СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ
И СЕВЕРО-ЕВРОПЕЙСКОГО БАСЕЙНА

11.00.08 — океанология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

ЛЕНИНГРАД
1987

Работа выполнена в Ленинградском гидрометеорологическом институте.

Научный руководитель: доктор географических наук, профессор Смирнов Н. П.

Официальные оппоненты: доктор географических наук Ковалев Е. Г.; кандидат географических наук Мичурин А. Н.

Ведущая организация: Ленинградское отделение Государственного океанографического института.

Защита состоится «16» *апреля* 1987 г. в 14 часов на заседании Специализированного совета Д.063.19.01 при Ленинградском гидрометеорологическом институте по адресу: 195196, Ленинград, Малоохтинский пр., 96.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ленинградского гидрометеорологического института.

Карлин 1987 г.

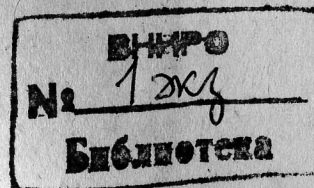
Карлин

Л. Н. Карлин

Общая характеристика работы

Актуальность проблемы. В результате обширных наблюдений в Мировом океане, проводимых в последние годы в рамках крупных национальных и международных программ, были выделены зоны, в которых интенсивность обмена энергией между океаном и атмосферой превосходит средние климатические значения в (2-3) раза. Такие зоны были названы энергоактивными зонами океана (ЭАЗО). Именно здесь наблюдаются экстремальные амплитуды внутригодовых колебаний термодинамических характеристик деятельного слоя океана, оказывающие наиболее сильное влияние на процессы в атмосфере. Одной из основных термодинамических характеристик является энтальпия (теплосодержание) вод деятельного слоя. Однако многочисленными исследованиями в области крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы установлено, что в настоящее время не существует надежных количественных оценок этой характеристики как в целом по Северной Атлантике и Северо-Европейскому бассейну, так и по ЭАЗО с достаточно подробным пространственным и временным разрешением. Получение надежных оценок, исследование закономерностей синоптической, сезонной и межгодовой изменчивости теплового режима вод деятельного слоя существенно расширит наши знания о процессах взаимодействия в системе океан-атмосфера.

Актуальной задачей является и задача долгосрочного прогноза теплового режима вод, которая, несмотря на определенные успехи, остается нерешенной. Наименее исследованными в этом отношении являются открытые районы Северной Атлантики. Между тем, в условиях расширения экономических рыболовных зон и истощения ресурсов в традиционных районах промысла освоение открытых районов приобретает первостепенное значение. Поэтому в ра-



боте исследуются возможности и предлагаются схемы прогнозирования изменчивости энталпии вод в открытых районах Северной Атлантики и Северо-Европейского бассейна.

Цель работы. Целью настоящей работы является исследование пространственно-временной структуры энталпии вод Северной Атлантики и Северо-Европейского бассейна. Указанная цель определила постановку следующих задач: анализ синоптической, сезонной и межгодовой изменчивости энталпии вод деятельного слоя, выявление ее основных закономерностей и определение возможных факторов формирования изменчивости энталпии вод, а также оценка возможностей долгосрочного прогноза теплового режима вод.

Научная новизна. Впервые детально исследована пространственная структура энталпии вод деятельного слоя по всей акватории Северной Атлантики и Северо-Европейского бассейна (по одноградусным квадратам от экватора до 75° с.ш.).

Дан сравнительный анализ синоптической, сезонной и межгодовой изменчивости энталпии вод в ЭАЭО и восточной части Северной Атлантики: выявлены районы с максимальной изменчивостью энталпии вод, определены периоды ее колебаний, установлены количественные связи с радиационными, атмосферными и адвективными факторами, как возможными причинами формирования пространственно-временной структуры энталпии вод деятельного слоя океана.

Получены уравнения для долгосрочного прогноза фоновых составляющих сезонной изменчивости энталпии вод деятельного слоя в открытых районах океана.

Практическая ценность. Полученные в работе количественные характеристики энталпии вод и ее изменчивости позволяют использовать их в качестве надежных энергетических оценок теплового состояния вод Северной Атлантики и Северо-Европейского бассейна в климатических моделях взаимодействия океана и атмосферы.

Разработанные схемы долгосрочного прогноза теплового состояния вод открытых районов океана дают возможность с заблаговременностью от одного месяца до года оценить фоновые температурные условия в ряде важных в промышленном отношении районов Северной Атлантики и Северо-Европейского бассейна.

Методологическая основа и методика исследования. В качестве рабочей концепции принято положение о ведущей роли тепло-

вой энергии в процессах взаимодействия океана и атмосферы. Пространственно-временная изменчивость энталпии вод деятельного слоя океана характеризует распределение величины доступной потенциальной энергии, то есть той части тепловой энергии, которая в дальнейшем реализуется в кинетической энергии океанических и атмосферных движений.

Исследование энергетики Северной Атлантики и Северо-Европейского бассейна проводится на масштабах, выделенных в геофизике А.С.Мониним: синоптическом, сезонном и многолетнем с помощью методов взаимнокорреляционного и взаимоспектрального анализа в сочетании с многомерными методами. При этом особое внимание уделялось выявлению и физическому обоснованию периодов квазистационарных колебаний энталпии вод деятельного слоя в ЭАЭО.

Для определения возможных причин пространственно-временной изменчивости энталпии вод рассмотрены радиационные, атмосферные и адвективные аспекты формирования теплового состояния океана на указанных выше масштабах. На основе анализа выявленных связей был сформирован набор предикторов, который в дальнейшем использовался в прогностических схемах.

Полагая, что изменчивость теплового режима океана определяется большим числом разномасштабных факторов, в реферируемой работе предлагается многофакторная схема долгосрочного прогноза изменчивости энталпии вод деятельного слоя. Построение регрессионных зависимостей производилось с предварительным разложением предиктанта и предикторов по естественным ортогональным функциям времени. В отличие от классического применения регрессионного анализа данный подход позволяет прогнозировать крупномасштабные компоненты, исключая при этом "шумовые" эффекты.

В работе также предпринята попытка использовать в прогностических целях стохастический подход к проблеме изменений климата и взаимодействия океана и атмосферы, развитый в основном, благодаря работам Хассельмана, суть которого кратко состоит в том, что модель авторегрессии первого порядка является оптимальной для прогноза гидрометеорологических рядов.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на научно-практической конференции "Биологические ресурсы больших глубин и дельталии открытых районов Мирового океана" (Мур-

манск, 1981), на VI конференции молодых ученых ДМИ (Ленинград, 1981), на итоговой сессии Ученого Совета ДМИ (Ленинград, 1987). Разработанные схемы долгосрочного прогнозирования термической структуры по выделенным однородным районам Северной Атлантики и Северо-Европейскому бассейну апробировались в период 1978-1982 гг.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и заключения. Содержит 173 с. машинописного текста с 49 рисунками и 18 таблицами. Список использованной литературы включает 115 наименований, в том числе 24 - на иностранном языке.

Содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и заключения.

Во введении обосновывается выбор темы работы и ее актуальность, а также дается общая характеристика структуры диссертации.

Для решения задачи исследования пространственно-временной структуры энталпии вод деятельного слоя Северной Атлантики и Северо-Европейского бассейна целесообразно иметь четкое представление о состоянии методов расчета энталпии вод, выработать единый подход при оценках запасов тепловой энергии океана и ее изменчивости на различных пространственно-временных масштабах. Поэтому в главе I автором дан на литературной основе сравнительный обзор существующих методов расчета энталпии вод, которые используются в настоящее время для оценки запасов тепловой энергии. К наиболее простым из них относится метод расчета энталпии вод по температуре поверхностного слоя океана, который можно рекомендовать в качестве предварительной оценки запасов тепловой энергии деятельного слоя (ДС) океана, осредненной по значительным акваториям и за большие промежутки времени. Одними из первых работ по оценкам запасов тепловой энергии и ее изменчивости явились работы S. Fritz (1958), G. I. Roden (1959), K. V. Ryan and E. Schroeder (1960), E. Г. Архиповой (1960), Л. А. Строкиной (1963), которые, несмотря на известные трудности: отсутствие длительных непрерывных рядов наблюдений за

температурой поверхностного слоя океана, неравномерность распределения исходных данных по площади, отсутствие данных на нижележащих горизонтах, невысокая точность измерений температуры воды поверхностного слоя позволили выявить ряд важных особенностей в пространственно-временной структуре энталпии вод ДС океана. К ним в первую очередь относятся нарушение зональности в пространственном распределении запасов тепла, существенные их различия от сезона к сезону, выявлена роль адвективных факторов в формировании поля тепловой энергии, а также ряд региональных особенностей. Тем не менее, следует признать, что данные выводы носят качественный характер.

С ростом количества температурных данных глубоководных наблюдений к концу 70-х годов в отечественных и зарубежных центрах сбора океанологической информации были сформированы массивы, общий объем которых характеризуется (10^5-10^6) зондирований. С этого момента начался новый этап в исследовании Мирового океана. Особое место в этих исследованиях занимают климатические модели A. F. Bunker (1976, 1980, 1982), A. H. Oort and T. H. Vinder Naer (1976), S. Hastenrath and P. J. Lamb (1980), Levitus S. and A. H. Oort (1977), P. J. Lamb (1981), P. T. Lamb and A. F. Bunker (1982), использующие весь архив данных. Результатом данных исследований явился ряд важных выводов по глобальному перераспределению тепловой энергии в Мировом океане, меридиональным переносам тепла и изменчивости энталпии вод ДС от сезона к сезону. Как правило, расчеты запасов тепловой энергии и ее изменчивости проведены в этих работах для широтных зон, что не позволило выявить важные особенности пространственного распределения энталпии вод ДС непосредственно в широтных зонах.

Крупным шагом в познании Мирового океана являются работы, проводимые в последние годы в рамках национальной программы "Разряды", ведущей идеей которой является исследование ЭАЭО (Марчук Г. И.).

Ценность данных исследований состоит в том, что в них анализируется пространственно-временная структура гидрофизических параметров в широких пределах: от синоптической до межгодовой изменчивости.

Наряду с несомненно важными в научном и практическом от-

ношении результатами следует отметить, что в отношении пространственно-временной структуры энthalпии вод ДС Северной Атлантики и Северо-Европейского бассейна имеется ряд вопросов, которые к настоящему времени были недостаточно освещены. Важнейшие из этих вопросов заключаются в следующем:

1. Построенные различными авторами карты пространственной изменчивости энthalпии вод ДС обладают значительными расхождениями. Особенно велики различия в ЭАЭО. Это объясняется следующими причинами: точностью используемой информации о температуре воды поверхностного слоя и нижележащих горизонтах, различиями в методах расчета энthalпии.

2. Почти все авторы не касались такого важного вопроса как влияние солёности на расчет энthalпии вод ДС исследуемой акватории. Между тем, в теоретических работах F.J. Millero, W.H. Leung убедительно показана необходимость учета изменчивости солёности при расчетах величин изменчивости энthalпии. Не проводилось и сравнительных расчетов по районам ЭАЭО с учетом и без учета влияния изменчивости солёности на величины изменчивости тепловой энергии ДС океана.

3. Незатронутым в большинстве работ остался вопрос о сравнительной характеристике колебаний энthalпии в различных ЭАЭО Северной Атлантики и Северо-Европейском бассейне.

4. Недостаточно полно освещен вопрос о механизмах формирования пространственно-временной структуры энthalпии вод в ЭАЭО.

5. Практически полностью отсутствует вопрос о возможности прогнозирования изменчивости теплового режима вод ДС открытых районов Северной Атлантики и Северо-Европейского бассейна.

Первые два вопроса являются предметом рассмотрения в главе I, важным выводом которой стал полученный методический результат о влиянии изменчивости солёности на изменчивость энthalпии вод ДС Северо-Европейского бассейна в различных временных масштабах: от синоптической до климатической изменчивости. Показано, что неучет изменчивости солёности приводит к ошибкам в расчетах изменчивости энthalпии вод слоя (0-200) м, в среднем составляющим 50% от истинной величины, причем для синоптической и месячной изменчивости они могут превышать

100%. Остальные вопросы освещены в последующих главах.

В главе 2 работы рассматривается пространственно-временная изменчивость энthalпии вод ДС Северной Атлантики и Северо-Европейского бассейна. Расчеты энthalпии вод ДС для анализа синоптической и месячной изменчивости выполнены по формуле, предложенной Millero F.J., Leung W.H.:

$$Q = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Z_i}{\bar{V}} (\chi_T^i, \chi_S^i)$$

где χ_T^i, χ_S^i - удельные значения "температурной" и "солёностной" составляющих энthalпии в i -м слое,
 \bar{V} - средний удельный объем слоя ΔZ_i .
 Для анализа сезонной, межгодовой изменчивости-по формуле

$$Q = 0.1 \bar{V} \bar{T} (H_{i+1} - H_i)$$

где \bar{V} - среднее для слоя $(H_{i+1} - H_i)$ значение удельной теплоемкости,
 \bar{T} - средняя температура слоя.

В этой главе дается характеристика пространственной структуры на основании расчетов меридиональных градиентов и лапласиана энthalпии по одноградусной сетке. Выявлены области максимальной изменчивости энthalпии, соответствующие положению фронтальных разделов, а также положение очагов теплонакопления и теплоотдачи. Здесь же приводятся оценки запасов тепловой энергии в ЭАЭО и их сравнительная характеристика.

Анализ синоптической изменчивости проводится на примере двух ЭАЭО: норвежской и тропической (восточной). В качестве исходных данных используются данные о температуре и солёности на стандартных горизонтах от поверхности до 700 м, полученные с дискретностью 5 часа в течение 45 и 34 суток соответственно. С помощью взаимокорреляционного и взаимоспектрального анализа выявлены значимые периоды изменчивости энthalпии: 15, 9.3, 4.7 суток для норвежской ЭАЭО и 1-3 и около 10 суток для тропической (восточной) ЭАЭО. Сравнительный анализ синоптической изменчивости энthalпии указывает на ее значительно большую изменчивость в квазиоднородном слое норвежской ЭАЭО относительно

тропической ЭАЭО. Для слоя сезонного термоклина (200-400) м изменчивость энтальпии выше в тропической ЭАЭО. Выявленные различия в изменчивости запасов тепловой энергии объясняются различной природой указанных колебаний: для норвежской ЭАЭО-атмосферные факторы (повторяемость прохождения циклонов), для тропической ЭАЭО - динамика вод экваториальных течений.

Пространственно-временная структура сезонной изменчивости исследуется по всей акватории Северной Атлантики и Северо-Европейского бассейна по одноградусной сетке, а также для ЭАЭО: норвежской, исландской, ньюфаундлендской, бермудской восточной и западной, тропической восточной и западной. В результате проведенного анализа выявлены следующие особенности:

1) Пространственная неоднородность в распределении тепловой энергии ДС: максимальные значения - $(20-21 \cdot 10^9)$ Дж м⁻² - отмечаются в западной части Северной Атлантики в широтной зоне $(15-25)^\circ$ с.ш., минимальные - $(1-3 \cdot 10^9)$ Дж м⁻² севернее 65° с.ш., максимальные пространственные градиенты энтальпии сосредоточены в ЭАЭО и фронтальных разделах.

2) Для временной изменчивости энтальпии вод ЭАЭО характерным является нарушение годового хода в слое (0-300) м относительно слоя (0-100) м, причем изменчивость энтальпии в слое (0-300) м выше, чем в слое (0-100) м.

3) Для ЭАЭО умеренных и северных широт максимум теплонакопления проявляется в мае-августе, минимум - в ноябре-декабре; для тропической (восточной и западной) ЭАЭО существуют два максимума теплонакопления - август-ноябрь и февраль-апрель и минимум - май-июль.

4) Сравнение годового хода энтальпии ДС океана ЭАЭО умеренных широт с годовым ходом энтальпии ЭАЭО тропических широт позволило установить асинхронность и асимметричность колебаний.

5) Основными периодами колебаний изменчивости энтальпии ЭАЭО являются 6, 8-10 и 12 месяцев.

6) Соотношение между амплитудами изменчивости в ЭАЭО таково, что в ньюфаундлендской и бермудской она в два раза выше, чем в тропической.

В этой же главе рассматривается межгодовая изменчивость энтальпии ДС (0-100) м ЭАЭО. В силу недостаточности исходных данных был привлечен метод главных компонент, с помощью кото-

рого составлены ряды из первых коэффициентов разложения энтальпии по естественным ортогональным функциям. Данный подход позволил с достаточной для выявления значимых колебаний степенью надежности установить, что основной вклад в межгодовую изменчивость вносят колебания с периодами (2-3) года, то есть квазидвухлетний цикл. Установлено также, что с конца 70- начала 80-х годов ярко выражен период охлаждения ДС ньюфаундлендской ЭАЭО, в бермудской и тропической ЭАЭО - период теплонакопления.

В главе 3 рассмотрены и проанализированы возможные факторы формирования структуры энтальпии. К ним мы отнесли радиационные (поглощенная солнечная радиация, эффективное излучение, суммарная радиация), атмосферные (составляющие теплового баланса поверхности океана) и адвективные (перенос тепла дрейфовыми и геострофическими течениями). Составляющие радиационного и теплового баланса, осредненные по ЭАЭО, были заимствованы из работы Б.А.Бирман и Т.Г.Поздняковой "Климатические характеристики теплообмена в зонах активного взаимодействия океана и атмосферы". Данные по скоростям дрейфовых течений были сняты с карт Мееhl (1982) и проинтерполированы в центры пятиградусных квадратов. Для оценки переноса тепла геострофическими течениями был выполнен расчет скоростей течений динамическим методом относительно "нулевой" поверхности Дефанта для центров пятиградусных квадратов Северной Атлантики и Северо-Европейского бассейна. Полученные результаты послужили основой качественного и количественного анализа вклада составляющих бюджета тепла ДС ЭАЭО в сезонную изменчивость энтальпии.

Из таблицы видно, что роль адвективных факторов значительно выше радиационно-атмосферных в ЭАЭО, восточная часть Северной Атлантики в меньшей степени подвержена адвективным воздействиям.

В главе 4 решается вопрос о районировании исследуемой акватории по характеру тепловой изменчивости вод ДС. В качестве методов классификации используются метод кратчайшей связывающей сети и метод главных компонент. Первый из указанных методов используется для районирования Северной Атлантики и Северо-Европейского бассейна по величине дисперсии температуры поверхностного слоя, второй - для районирования по естественным ортогональным функциям (е.о.ф.) энтальпии вод ДС (0-100) м. По-

Средние сезонные значения составляющих бюджета тепла
ДС в ЭАЗО

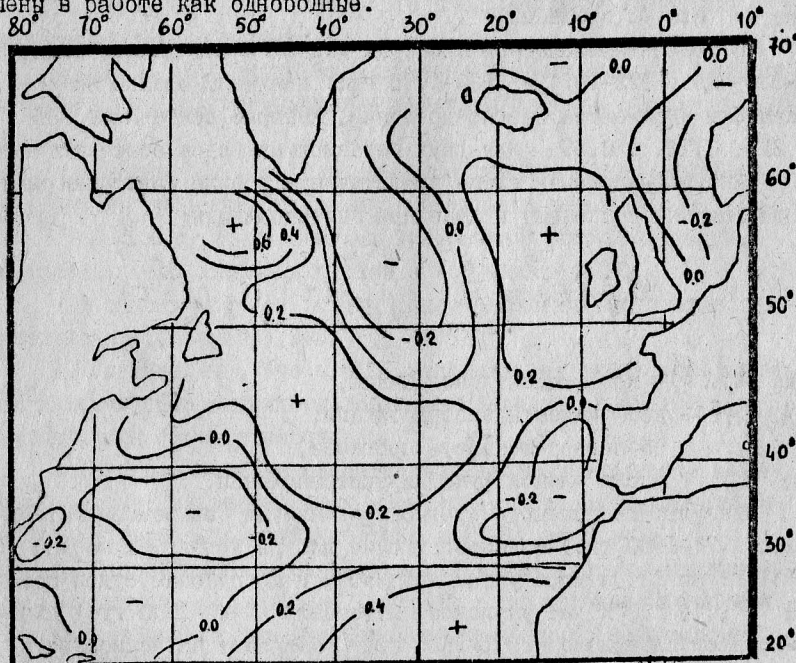
ЭАЗО	Составляющие бюджета тепла ДС ^{х)}	С е з о н			
		Зима	Весна	Лето	Осень
Норвежская	Q_T	-131	54	130	-76
	Q_A	200	-150	-50	200
	ΔQ	30	-100	80	100
Исландская	Q_T	-175	7	118	-83
	Q_A	-100	30	-40	150
	ΔQ	-200	50	50	100
Бермудская : вост.	Q_T	-202	7	100	-105
	Q_A	150	40	-80	60
	ΔQ	-50	50	50	-50
зап.	Q_T	-200	27	84	-121
	Q_A	350	-10	80	-100
	ΔQ	120	20	140	-280
Ньюфаундлендская	Q_T	-182	26	135	-67
	Q_A	-50	100	100	-110
	ΔQ	-200	170	230	-200
Тропическая: вост.	Q_T	-27	65	84	31
	Q_A	80	-10	-50	-150
	ΔQ	50	50	30	-130
зап.	Q_T	-20	44	54	33
	Q_A	400	-130	-140	-150
	ΔQ	350	-100	-100	-150

х) Q_T - тепловой баланс поверхности океана, Q_A - суммарный перенос тепла дрейфовыми и геострофическими течениями, ΔQ - изменчивость энтальпии вод слоя (0-200) м ($Эт м^{-2}$).

лученные результаты позволили выделить районы максимальной и минимальной изменчивости, а также районы с противоположными сезонными колебаниями энтальпии: северо-западный район Северной Атлантики относительно юго-восточного и северо-восточный рай-

он относительно юго-западного. В качестве наглядного подтверждения данных выводов обратимся к рисунку. На нем представлено поле второй е.о.ф. Следует отметить, что оппозиция северо-запад - юго-восток проявляется наиболее ярко.

В этой же главе выделены области океана с одинаковыми величинами дисперсии и характером сезонных колебаний теплового режима вод: северо-восточная часть Северной Атлантики и центральная часть Северо-Европейского бассейна. Эти районы определены в работе как однообразные.



Поле второй естественной ортогональной функции для среднемесячных значений энтальпии вод слоя (0-100) м

По выделенным однородным районам в главе 5 разрабатываются опытные схемы долгосрочного прогноза изменчивости теплового режима вод ДС океана. Автором предлагаются две схемы: многофакторная - для района судна погоды "I" ($\psi = 59^\circ$ с.ш., $\lambda = 19^\circ$ з.д.) и авторегрессионная модель для восточной части Северной Атлантики (2^2 пятиградусных квадрата) и центральной части Северо-Европейского бассейна (10 пятиградусных квадратов), она же

используется и для районов судов погоды "I", "J", "K".

В основу долгосрочного прогноза по многофакторной схеме положены установленные асинхронные связи между температурой поверхностного слоя океана, атмосферными и океанологическими характеристиками, а также связь между аномалиями температуры поверхностного слоя и изменчивостью энthalпии вод (0-100) м. В качестве прогностических уравнений используются уравнения множественной регрессии, связывающие коэффициенты разложения рядов гидрометеорологических элементов предиктанта и предикторов по е.о.ф. времени.

В результате опытной проверки данной схемы на независимом материале (1972-1974 и 1980-1985 гг.) получены оценки эффективности и качества прогнозирования, которые составляют 83% и 21%, 0,74 и 0,68 для двух независимых рядов соответственно.

Авторегрессионная схема представлена в виде сочетания метода главных компонент и линейной экстраполяции:

$$a_j(t) = \sum_{\tau=m}^e k_{j,m}(\tau) a_j(t-\tau)$$

где $a_j(t)$ - коэффициент разложения,
 $k_{j,m}(\tau)$ - коэффициенты экстраполяции,
 m - заблаговременность прогноза,
 e - число членов функции экстраполяции.

Результаты опытного прогнозирования на зависимом материале (1974-1980 гг.) и независимом - с января по август месяца 1981 г. по 32 пятиградусным квадратам и по районам судов погоды "I", "J", "K" на зависимом материале (1978-1980 гг.) и независимом материале (1981-1985 гг.) указывают на возможность применения данной схемы для прогностических оценок изменчивости теплового состояния вод ДС океана.

Сравнение оправдываемости прогнозов многофакторной и авторегрессионной схем показало лучшую оправдываемость первой, особенно в аномальные годы. Учитывая практически более простую реализацию авторегрессионной модели, ее следует также рекомендовать в качестве возможной схемы прогноза фоновых характеристик термической структуры.

В заключении сформулированы основные результаты диссертаци-

ционной работы:

1. Установлено, что неучет изменчивости солености приводит к ошибкам в оценках запасов тепловой энергии, в среднем составляющие (6-18)%. Еще большие ошибки возникают при оценках синоптической и сезонной изменчивости энthalпии вод ДС, которые могут достигать 50% и более.

2. Выявлены основные особенности пространственной изменчивости энthalпии вод деятельного слоя Северной Атлантики и Северо-Европейского бассейна:

- неоднородность пространственного распределения запасов тепловой энергии, максимальные величины которой сосредоточены в ЭАЗО,

- максимальные пространственные градиенты энthalпии соответствуют положению основных фронтальных разделов,

- самыми крупными очагами теплоотдачи являются очаги, расположенные в ньюфаундлендской и исландской ЭАЗО,

- к самому крупному очагу теплонакопления относится очаг тропической (западной) ЭАЗО.

3. Установлено, что в ЭАЗО максимальные амплитуды сезонной изменчивости энthalпии достигают величин, в (5-10) раз больших, чем фоновые значения.

4. Синоптическая и сезонная изменчивость являются ведущими в процессах исследуемых масштабов, максимальные амплитуды которых превосходят межгодовые в (3-8) раз.

5. К особенностям синоптической изменчивости энthalпии вод следует отнести большие различия в периодах ее колебаний в высоких и низких широтах Северной Атлантики (норвежская и тропическая (восточная) ЭАЗО) от суток до 37 суток, обусловленные атмосферными и адвективными факторами.

6. Для сезонной изменчивости энthalпии характерным является:

- нарушение годового хода в слое (0-300) м относительно (0-100) м в ЭАЗО,

- для умеренных и высоких широт Северной Атлантики и Северо-Европейского бассейна - максимумом теплонакопления в мае-августе и минимумом - в ноябре-декабре,

- для тропической Атлантики существуют два максимума теплонакопления в августе-ноябре и феврале-апреле и минимум - в мае-июле,

- основными периодами колебаний являются 6, 8-10 и 1² месяцев,

- выявлена асинхронность и асимметричность колебаний изменчивости энтальпии в ЭАСО умеренных широт относительно тропических широт.

7. Основной вклад в межгодовую изменчивость вносят колебания с периодами (2-3) года.

8. Показано, что северо-западный район Северной Атлантики испытывает сезонные колебания энтальпии в противофазе относительно юго-восточного, северо-восточный - относительно юго-западного.

9. Разработана физико-статистическая и авторегрессионная схемы долгосрочного прогноза температуры поверхностного слоя океана и сезонной изменчивости энтальпии вод ДС для отдельных районов Северной Атлантики и Северо-Европейского бассейна. Результаты опытного прогнозирования указывают на возможность применения данных схем прогноза в оперативной практике.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Серяков Е.И., Титов Ю.Э. Формирование аномалий полей температуры поверхностного слоя в Северной Атлантике // Тр. ПИМО. - 1978. - Вып.40. - С.84-88.

2. Титов Ю.Э. Метод долгосрочного прогноза температуры поверхностного слоя Северной Атлантики // Тезисы докладов научно-практической конференции "Биологические ресурсы больших глубин и пелагиали открытых районов Мирового океана". - Мурманск. - 1981. - 58 с.

3. Титов Ю.Э. Об использовании метода разложения рядов гидрометеорологических элементов по естественным ортогональным функциям времени // Научн. труды (межвузовские): Исследование и освоение Мирового океана. - Л.: Изд.ЛПИ, 1981. - Вып.77. - С.46-50.

4. Воробьев В.Н., Смирнов Н.П., Титов Ю.Э. О пространственной и временной структуре энтальпии вод Северо-Европейского бассейна // Научн. труды (межвузовские): Исследование взаимодействия океана и атмосферы в энергоактивных зонах. - Л.: Изд.ЛПИ, 1985. - Вып.91. - С.3-15.

5. Воробьев В.Н., Титов Ю.Э. Сезонная изменчивость энтальпии вод и адвекции тепла в северной части Атлантического океана // Научн. труды (межвузовские): Исследование крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы в Северной Атлантике. - Л.: Изд.ЛПИ, 1986. - Вып.93.

6. Вайновский П.А., Титов Ю.Э. О структуре термохалинных полей деятельного слоя Норвежского моря // Научн. труды (межвузовские): Исследование крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы в Северной Атлантике. - Л.: Изд.ЛПИ, 1986. - С.75-82.

7. Вайновский П.А., Титов Ю.Э. Практические аспекты многомерного анализа. - Л.: Изд.ЛПИ, 1986. - 17 с. Деп.ВИНИТИ № 8462-В86.