

Бесплатно

1205

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

---

*На правах рукописи*

**ВАЙНОВСКИЙ**  
Павел Антонович

УДК 551.465

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ  
ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ  
С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ  
МНОГОМЕРНОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА  
(на примере Норвежской энергоактивной зоны)**

11.00.08. — ОКЕАНОЛОГИЯ

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

ЛЕНИНГРАД — 1987

и

Работа выполнена в Ленинградском гидрометеорологическом институте.

Научный руководитель —  
доктор географических наук профессор СМИРНОВ Н. П.

Официальные оппоненты:  
доктор физико-математических наук РОЖКОВ В. А.,  
кандидат географических наук КУТЬКО В. П.

Ведущая организация: Ордена Ленина Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт.

Защита диссертации состоится « 7 » мая 1987 г. в 10 часов на заседании специализированного совета Д 063.19.01 в Ленинградском гидрометеорологическом институте (195196, Ленинград, Малоохтинский пр., 98).

С диссертацией

Автор

Ученый с  
специализированной  
кандидат ф

ИН

## Общая характеристика работы

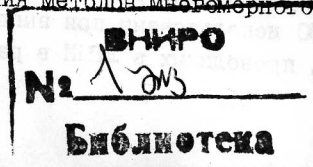
Актуальность темы. Важной составной частью исследований, проводимых в рамках Национальной программы "Разрезн", является изучение особенностей формирования гидрологического режима Норвежской Энергоактивной Зоны Океана (ЭАЗО), которая выбрана объектом анализа в данной работе.

Значительная пространственная неоднородность гидрофизических полей, сочетающаяся с развитыми вертикальными и горизонтальными движениями вод в условиях интенсивного локального термодинамического взаимодействия океана и атмосферы, создают специфический механизм поддержания гидрологического режима Норвежской ЭАЗО, и определяют ту особую роль, которую данная область играет в процессе формирования флуктуаций климата Северо-Европейского региона.

Кроме того, на протяжении многих десятилетий Норвежская ЭАЗО остается зоной интенсивного рыбного промысла, интересы которого постоянно требуют повышения надежности диагноза и прогноза как отдельных гидрофизических характеристик, так и промышленной ситуации в целом.

Физически обоснованная картина гидрологического режима Норвежской ЭАЗО с необходимой подробностью может быть сформирована лишь на основе объективно выявленных и количественно описанных устойчивых в пространстве и времени взаимосвязей гидрофизических характеристик в их целостности. Методология многомерного статистического анализа в этом аспекте признана на сегодняшний день одним из наиболее перспективных путей обобщения разнородной гидрометеорологической информации.

Цель работы состоит в исследовании пространственно-временной структуры гидрофизических полей Норвежской ЭАЗО на основе применения методов многомерного статистического анализа.



Основные задачи: 1. Разработка схемы использования методов многомерного статистического анализа применительно к исследованию изменчивости комплекса гидрофизических характеристик.

2. Изучение структуры климатических полей гидрофизических элементов в Норвежской ЭАЭО, оценка их пространственной неоднородности.

3. Районирование акватории Норвежской ЭАЭО по комплексу гидрофизических параметров.

4. Оценка информативности отдельных гидрофизических параметров и построение рациональной сети океанографических станций.

5. Оценка статистической предсказуемости гидрофизических полей.

Научная новизна работы. На основе многомерного подхода объективно выделены водные массы и система фронтальных зон Норвежской ЭАЭО. Даны их количественные характеристики, описана пространственно-временная изменчивость.

Оценена роль отдельных гидрофизических характеристик в формировании структуры вод Норвежской ЭАЭО и получена оптимизированная сеть океанографических станций их мониторинга.

Оценена статистическая предсказуемость полей среднемесячной температуры поверхности воды.

Практическая значимость. Предложенная схема многомерного статистического анализа комплекса параметров состояния океана может служить основой оперативного автоматизированного диагноза гидрофизических полей. Количественные характеристики структуры вод Норвежской ЭАЭО могут быть использованы при решении задач мониторинга и в целях математического моделирования. Результаты оптимизации размещения сети станций мониторинга, оценка информативности отдельных характеристик, оценка предсказуемости температуры воды, а также сформированный архив среднемесячных полей температуры поверхности Норвежской ЭАЭО могут быть использованы при прогнозировании элементов теплового режима.

Результаты исследования структуры полей гидрофизических элементов Норвежской ЭАЭО использованы при выполнении научно-исследовательских работ, проводимых в ЛПМИ в рамках программы

"Разрезы" по проекту ГКНТ 07.04.01 "Система". Составленный пакет программ многомерного статистического анализа гидрофизических параметров внедрен в практику учебного процесса ЛПМИ по курсу "Методы обработки и анализа океанологической информации" и в учебной лаборатории морских гидрологических прогнозов.

Фактический материал. Использованы климатические средне-годовые и среднесезонные поля гидрофизических характеристик Норвежской ЭАЭО в центрах одноградусных квадратов из Глобального архива океанографических данных (Levitus, 1978, 1985). Дополнительно привлечены данные порейсовых массивов гидрологических наблюдений, накопленные в ЦОДе.

На основе карт, публикуемых ГМЦ СССР, сформирован архив полей среднемесячной температуры воды Норвежской ЭАЭО за период 1977-1985 гг. в узлах сетки с шагом  $2,5^{\circ}$  по меридиану и  $5^{\circ}$  по параллели.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на итоговой сессии Ученого Совета ЛПМИ (1987); на семинарах лаборатории физической океанологии ГОИН (1986), лаборатории промышленной океанологии ПИПРО (1986), на семинарах кафедры динамики океана ЛПМИ (1985, 1986) и отдела "Система" ЛПМИ (1986); на конференциях молодых ученых ГМЦ СССР (1986), Института озера-ведения АН СССР (1986), ЛПМИ (1984, 1986).

Автор выносит на защиту: 1. Схему использования методов многомерного статистического анализа для исследования комплекса гидрофизических параметров.

2. Количественные характеристики структуры климатических гидрофизических полей Норвежской ЭАЭО.

3. Количественные характеристики пространственно-временной изменчивости водных масс и фронтальных зон.

4. Оценку информативности гидрофизических параметров.

5. Оценку предсказуемости среднемесячной температуры поверхности воды Норвежской ЭАЭО.

Объем работы. Работа изложена на 149 с. текста, состоит из четырех глав, введения, заключения, содержит 9 таблиц и рисунков 30.

## Содержание работы

Актуальность темы диссертационной работы обоснована во введении. Там же сформулированы цель и задачи работы, а также указаны основные положения, которые автор выносит на защиту.

В главе I рассматриваются основные аспекты практического применения методов многомерного статистического анализа, а именно: метода главных компонент, метода факторного анализа, метода кластер-анализа. Показано, что использование методов многомерной статистики в океанологических задачах явилось следствием многопараметрического описания океанологических объектов, характеризующихся большим количеством внешних и внутренних взаимосвязей.

Преобразование разнородной информации об океане к виду, удобному для анализа (то есть сжатие информации, выделение групп ведущих параметров, их параметрическое описание) может быть достигнуто ортогональным преобразованием исходных признаков с помощью метода факторного анализа или метода главных компонент. Известные оптимальные свойства последнего определяют эффективность его применения для описания, анализа и прогноза значительной части систематической дисперсии исследуемых переменных с помощью первых нескольких главных компонент.

Недостатки метода главных компонент, в частности неинвариантность компонент к изменению масштаба признаков, слабая физическая интерпретируемость компонент заставляют обратить внимание на метод факторного анализа, где эти недостатки во многом преодолеваются методически. Несмотря на определенную сложность вычислительных процедур, в данном методе удается объективно оценить количество рассчитываемых ортогональных переменных (общих факторов), оценка значений которых на основе метода максимального правдоподобия (Дуули, Максвелл, 1967) является нечувствительной в случае изменения масштаба исходных переменных. Интерпретируемость результатов факторного анализа повышается за счет применения дополнительного преобразования общих факторов к виду, при котором они максимально коррелируют с одними из исходных переменных и не свя-

заны с другими.

Анализ показывает, что, эффективно преобразуя исходные переменные, методы ортогонального преобразования не позволяют непосредственно классифицировать объекты исследования.

Разнообразие типизаций океанологических объектов зачастую обусловлено не сложностью исследуемых характеристик, а субъективизмом исследователя. Достижение наиболее надежных результатов типизации, как правило, связано с применением методов автоматической классификации (кластер-анализа), которые с заданной степенью точности выделяют однородные по ряду параметров районы. Однако качество классификации, степень интерпретируемости результатов и их практическая ценность целиком зависят от тщательности подбора информативных признаков, от учета относительной важности каждого из них, степени зашумленности признаков и, наконец, от выбранного алгоритма классификации.

В целом анализ опыта практического применения методов многомерной статистики позволяет утверждать, что исчерпывающее решение вопроса выделения структуры океанологических полей в рамках применения одного из рассмотренных методов наталкивается на серьезные трудности, обусловленные ограничениями теоретических предпосылок конкретных методов.

В главе 2 формулируется схема многомерного статистического анализа структуры вод. Назначение схемы состоит в объективном выявлении информативных параметров структуры вод, выделении однородных по набору признаков районов, количественный анализ пространственных масштабов выделенных однородных районов.

Показано, что решение поставленных задач может быть выполнено путем последовательного применения нескольких методов многомерного анализа. Предлагается следующая схема анализа структуры гидрофизических полей:

- формирование исходного набора признаков, куда включаются все априорно значимые параметры;
- ортогональное преобразование исходных признаков по методу факторного анализа для оптимального сжатия признакового пространства, оценивания информативности и изучения взаимосвязанности отдельных параметров;
- объективная классификация объектов исследования в компактные группы, однородные по набору общих факторов;

- вычисление статистических характеристик полученных однородных районов;

- построение рациональной сети океанографических станций по результатам районирования.

Данная методика позволяет на единой основе осуществлять исследование термохалинных, динамических, биохимических и энергетических полей в океанах.

Проблему идентификации фронтальных зон океана при этом может быть решена путем введения в набор исходных признаков специфических параметров состояния фронтальных зон: градиентов регистрируемых характеристик, горизонтальных и вертикальных составляющих течений и т.п. При выборе методики ортогонального преобразования предпочтение отдается методу факторного анализа. Результаты численных экспериментов показывают, что его применение позволяет получить физически интерпретируемое решение, согласно которому каждый общий фактор однозначно описывает пространственно-временную изменчивость параметров внутри конкретного однородного района. Метод главных компонент приводит к более формальному разложению поля на фоновую, зональную и меридиональную компоненты, а обособленность однородных районов проявляется слабо.

Полученные пространственные распределения общих факторов объективно группируются с помощью пошаговой агломеративной процедуры кластер-анализа, позволяющей с необходимой точностью районировать исследуемые объекты. Результатом работы процедуры является набор однородных районов, для которых оценены первичные статистические характеристики и выделены статистические центры районов.

Вся последовательность вычислительных операций представлена в виде набора программ многомерного статистического анализа и реализована на языке Фортран-4 на ЭВМ ЕС-1022.

В главе 3 исследуется пространственная структура климатических гидрофизических полей Норвежской ЭАЭО. В разделе 1 охарактеризован уровень изученности гидрологического режима района. Отмечается, что остаются неясными многие черты циркуляции вод, требует уточнения схема формирования сезонной изменчивости гидрофизических полей и связанная с ней изменчивость фронтальных зон.

В разделе 2 дана характеристика используемых климатических полей.

В разделе 3 анализируется структура климатических среднегодовых гидрофизических полей во всей толще вод Норвежской ЭАЭО. Вычисление объемных  $T, S$ -характеристик и построение двумерных диаграмм плотности вероятности температуры и солености подтвердили наличие нескольких водных масс и выявили ряд  $T, S$ -интервалов интенсивной трансформации вод, которым соответствуют значительные объемы вод.

Для многомерного статистического анализа матрица исходных данных формировалась из значений восьми параметров на конкретном горизонте каждого одноградусного квадрата. Для идентификации фронтальных зон исходные значения температуры, солености, плотности, содержания растворенного кислорода были дополнены величинами модулей горизонтальных градиентов полей перечисленных характеристик. В результате обработки созданного массива акватория Норвежской ЭАЭО объективно районирована на шесть однородных районов: четыре из них соответствуют основным типам водных масс региона, а два - могут быть идентифицированы как фронтальные зоны - в силу присущих им максимальных значений горизонтальных градиентов гидрологических характеристик. Подобная пространственная структура гидрофизических полей сохраняется в верхнем двухсотметровом слое Норвежской ЭАЭО и подвергается перестройке в слое (250-400) м, ниже которого структура существенно упрощается. На глубинах более 800 м весь объем региона заполнен практически однородными глубинными водами.

Взаимосвязь исследуемых характеристик тесно связана с неоднородностью их пространственных распределений. Наиболее высока пространственная изменчивость верхнего стометрового слоя вод, причем термическая изменчивость преобладает над соленостной и определяет в целом по району изменчивость поля плотности. Выявлена слабая связь пространственного распределения полей температуры и солености, что отражает несовпадение в пространстве источников формирования термических и соленостных неоднородностей. Анализ изменчивости внутри выделенных водных масс показал преобладание соленостной изменчивости над термической на севере Норвежской ЭАЭО в зоне таяния льда и в

прибрежной зоне Скандинавского полуострова, где локализованы воды, испытывающие воздействие материкового стока.

Типизация фронтальных зон в отдельные классы позволяет исследовать их внутреннюю структуру и, в частности, идентифицировать фронтальные зоны с преобладающей термической и соленостной трансформацией вод.

Промежуточный слой характеризуется уменьшением пространственной неоднородности вод, уменьшением объема фронтальных зон и увеличением общности изменчивости всех исследуемых параметров. Последняя особенность проявляется в высокой коррелированности пространственных распределений полей температуры, солености, содержания кислорода и отражает наличие единого механизма формирования гидрофизических полей в данном слое.

Раздел 4 посвящен анализу сезонной изменчивости структуры гидрофизических полей верхнего двухсотметрового слоя Норвежской ЭАЗО. Наиболее упрощенная и близкая к среднегодовой отмечается структура гидрофизических полей деятельного слоя в зимний сезон, когда отчетливо разделены полярные и атлантические воды, и наблюдается высокая коррелированность полей температуры и солености. Сходство горизонтальных распределений гидрофизических характеристик по всей толщине деятельного слоя в сочетании со слабой устойчивостью вод указывает на интенсивное вертикальное перемешивание.

В летний сезон имеет место увеличение рассогласованности пространственных распределений гидрофизических полей и появление значимых различий в структуре полей верхней и нижней частей деятельного слоя. Последняя особенность наиболее сильно выражена в осенний сезон, когда в поверхностном слое наблюдается максимальное распреснение вод под влиянием таяния льда и усиления материкового стока. Переходные сезоны характерны в годовом цикле наиболее высокой неоднородностью пространственного распределения гидрофизических характеристик, что является следствием интенсификации разномасштабного термодинамического взаимодействия верхнего слоя Норвежской ЭАЗО с окружающей средой.

Изменчивость гидрофизических полей в пространстве и времени неразрывно связана и во многом определяется интенсивностью водообмена с Атлантическим океаном. Анализ объемов и

характеристик водных масс и фронтальных зон показывает, что наиболее простая структура взаимосвязей отдельных гидрофизических параметров наблюдается в зимний период при усилении притока атлантических вод. А наиболее сложная структура полей и низкий уровень их взаимосвязи отмечается в переходные сезоны, когда приток теплых вод минимален в силу наличия полугодовой волны в ходе интенсивности Северо-Атлантического течения.

Положение Фареро-Исландской ветви полярной фронтальной зоны позволяет проследить этот процесс: зимой фронтальная зона располагается к западу от нулевого меридиана, а в переходные сезоны она распространяется на восток вдоль по параллели. При этом приток атлантических вод в весенний сезон локализуется в восточной ветви Норвежского течения, располагающейся в прибрежной зоне Скандинавии. В осенний сезон приток еще более затруднен ввиду накопления в поверхностном слое значительных объемов вод, распресненных под влиянием интенсивного материкового стока.

В разделе 5 рассматриваются характеристики системы фронтальных зон верхнего слоя Норвежской ЭАЗО. Интенсивность фронтальных зон имеет отчетливо выраженный годовой ход: в зимний сезон полярная фронтальная зона характеризуется максимальными градиентами гидрофизических параметров и минимальной шириной, летом уменьшаются горизонтальные градиенты и увеличивается ширина фронтальной зоны до 200 км. В целом система фронтальных зон получает наибольшее развитие в осенний сезон, когда их объем составляет около 7% общего объема вод деятельного слоя.

Выделенные фронтальные зоны имеют различную природу. Для полярной фронтальной зоны основной перепад плотности обусловлен изменчивостью температуры. Соленость играет первостепенную роль во фронтальных зонах у побережья Скандинавии и вдоль кромки льдов. Характерно, что фронтальные зоны, связанные с интенсивной соленостной трансформацией вод, сосредоточены в поверхностном слое толщиной 100 м, тогда как термические фронты прослеживаются до глубины 600 м. Соленостные фронтальные разделы нестабильны в пространстве - они перемещаются в течение года на (200-300) км и могут полностью размываться в зимний период. Пространственная изменчивость положения полярной

фронтальной зоны составляет величину порядка 100 км, за исключением Фареро-Исландской ветви, где эта цифра в три раза больше.

Для полярной фронтальной зоны в слое (200-600) м выявлена значимая взаимосвязь пространственного положения фронтального раздела с нижележащим рельефом дна и нормальной фронту составляющей градиента глубины. Отмеченные особенности в сочетании с наличием качественного сходства пространственного положения полярной фронтальной зоны и конфигурации изолиний относительной потенциальной завихренности позволяет сделать вывод о преобладающем влиянии циркуляционно-топографических факторов в процессе формирования фронтальной зоны.

В п.4.1 решается задача оптимизации размещения станций наблюдения комплекса гидрофизических характеристик - температуры, солености, содержания кислорода, плотности. Минимизация средней квадратической ошибки описания поля достигается при размещении станций в статистических центрах однородных районов океана, объективно выделенных по набору исследуемых признаков. Статистический центр трактуется как "центр тяжести" данного района, а одноградусный квадрат с гидрофизическими характеристиками, наиболее сходными с найденными характеристиками центра тяжести, и предлагается в качестве места расположения океанографической станции.

Критерий поиска оптимального одноградусного квадрата может быть представлен в виде:

$$K = \min_i \left( \sum_j (T_{ij} - T_{ij}^0)^2 \right)$$

где  $i$  - номер одноградусного квадрата в данном однородном районе,

$j$  - номер переменной,

$T_{ij}$  - значение  $j$ -го признака в  $i$ -ом квадрате.

На примере построения сети океанографических станций для наблюдения климатической изменчивости гидрофизических полей в верхнем слое Норвежской ЭАЭО показаны различия в оптимальном размещении станции наблюдения термического режима и отдельно термохалинного режима. Своеобразие пространственной изменчивости поля солености обуславливает необходимость введения допол-

нительных станций наблюдения термохалинных параметров в прибрежной зоне Скандинавии.

В п.4.2 по результатам статистического анализа оценивается степень предсказуемости полей среднемесячной температуры воды в Норвежской ЭАЭО.

Спектральный анализ позволил выявить основные периоды колебаний температуры воды: (2-3) года, (8-14) мес., (3-6) мес. Пространственная неоднородность амплитуд и фаз выделенных периодических компонент позволяет объективно районировать акваторию Норвежской ЭАЭО. По степени связанности временной изменчивости температуры, акватория районирована на пять однородных районов, границы которых очерчивают зоны распространения полярных, атлантических, норвежских, восточно-исландских вод и полярной фронтальной зоны. Прослеживается сходство полученного пространственного положения полярной фронтальной зоны с результатами типизации климатических среднегодовых гидрофизических полей, что подтверждает наличие преобладающей роли термической изменчивости при формировании режима центральной части Норвежской ЭАЭО.

Основная доля дисперсии рядов среднемесячной температуры воды приходится на годовую составляющую (60%), далее по степени уменьшения следуют: (8-14)-месячная цикличность (13%), (2-3)-летняя (9%), (3-6)-месячная (7%). Более длиннопериодные составляющие ввиду ограниченности выборки представлены трендом. Пространственная неоднородность периодических составляющих проявляется в следующем: максимум дисперсии отклонений от годового хода приурочен к району, занятому водами Восточно-исландского течения (0,8 град<sup>2</sup>); там же наблюдается максимум суммарной дисперсии температуры воды (4,3 град<sup>2</sup>) и дисперсии колебаний с годовой периодичностью. Максимум дисперсии (2-3)-летних колебаний приурочен к району локализации полярной фронтальной зоны (0,2 град<sup>2</sup>). Здесь же сосредоточен максимум дисперсии (8-14)-месячной компоненты (0,15 град<sup>2</sup>). Дисперсия короткопериодных колебаний и трендовых составляющих практически однородна по акватории Норвежского ЭАЭО.

Колебания температуры с периодом (2-3) года синхронны по всему району исследований. Для колебаний с периодами (8-14) месяцев отмечается сдвиг по фазе на (1-4) месяца, который, по всей видимости, отражает циркуляционную природу этих колебаний.

Изменчивость температуры воды с периодичностью (3-6) месяцев имеют весьма слабые пространственные взаимосвязи, радиус пространственной корреляции их не превышает шага сетки, что указывает на локальность механизма их формирования.

Анализ показывает целесообразность фонового долгосрочного прогноза термического режима, основанного на статистическом описании трендовых и долгопериодных циклических компонент при условии учета непостоянства амплитуды и фазы последних. Изменчивость температуры во временном интервале до шести месяцев формируется в основном неперiodическими колебаниями, вызванными совокупным стохастическим внешним возбуждением.

Учитывая выявленную структуру колебаний полей среднемесячной температуры воды, для описания термического режима Норвежской ЭАЭО использована динамико-стохастическая модель:

$$T(t) = \sum_1 A_i \cdot \cos(\omega_i t + \varphi_i) + T'(t-1) \cdot b(t)$$

Модель включает набор циклических долгопериодных колебаний температуры (1) и стохастическую компоненту (2). Последняя позволяет учесть аномальность локального термического взаимодействия океана и атмосферы, обусловленного специфичностью циклогенеза над Норвежской ЭАЭО. Принципиальным отличием данной модели от традиционного авторегрессионного описания термического режима верхнего слоя океана (Hasselmann, 1977; Островский, Пирбарг, 1985) является введение переменного во времени коэффициента авторегрессии  $b(t)$ . Рекуррентное оценивание параметров стохастической компоненты на основе процедуры оптимальной фильтрации Калмана позволяет наиболее точно аппроксимировать динамичный процесс формирования аномалий среднемесячной температуры воды Норвежской ЭАЭО.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

1. Оптимальная схема многомерного статистического анализа структуры вод состоит в последовательной обработке наблюдений методами факторного и кластерного анализа. В результате использования данной схемы к исследованию Норвежской ЭАЭО получены:

1) районы локализации и статистические характеристики

водных масс (полярной, атлантической, смешанной, глубинной) и системы фронтальных зон (собственно полярной, и ее ветвей - Фареро-Исландской, Фареро-Лн-Майенской, Скандинавской, Восточно-Гренландской);

2) оценена информативность гидрофизических характеристик;

3) построена оптимальная сеть станций мониторинга крупномасштабной изменчивости океана.

2. По типу взаимосвязей гидрофизических характеристик в верхнем слое Норвежской ЭАЭО выделены районы, занимаемые водными массами (горизонтальный масштаб  $10^3$  км) и фронтальными зонами (средняя ширина  $10^2$  км, протяженность  $10^5$  км), взаимодействие которых составляет суть механизма формирования гидрологического режима данного региона. Выделенная структура вод взаимосвязана с общей динамикой вод, энергетическими параметрами состояния верхнего слоя, и локальным взаимодействием с окружающей средой. В сезонном ходе структуры отмечается неравномерность: максимальное рассогласование пространственного распределения отдельных гидрофизических характеристик наблюдается осенью (результат интенсификации локальных процессов взаимодействия океана с окружающей средой), наилучшая согласованность зимой (за счет конвективного перемешивания).

3. Выделенные фронтальные зоны имеют амплитуду пространственного смещения от сезона к сезону порядка 150 км, которая прослеживается в поверхностном слое и обуславливается взаимодействием с атмосферой. Крупные перемещения Фареро-Исландской ветви полярной фронтальной зоны (300 км) в восточном направлении, наблюдаемые весной и осенью, являются реакцией на соответствующее изменение притока атлантических вод. На глубинах более 200 м положение полярной фронтальной зоны обусловлено генеральной динамикой вод Норвежской ЭАЭО, что следует из высокой связанности фронтальной зоны и подстилающего рельефа дна.

4. Поле температуры воды наиболее информативно среди других параметров на площади 80% акватории Норвежской ЭАЭО, особенно в центральной и южной частях. Поле солёности как фактор, влияющий на формирование аномалий поля плотности, проявляется в прибрежной зоне Скандинавии и в зоне Восточно-Гренландского течения в теплую половину года, что связано с распределением вод поверхностного слоя. В Скандинавской и Восточно-Гренланд-



ской фронтальных зонах перепад плотности формируется за счет скачка солености. Тогда как собственно в полярной фронтальной зоне - за счет перепада температуры. Соответственно распределяется вес факторов трансформации плотности в полярных (соленостная) и атлантических (термическая) водных массах.

5. Оценку изменчивости крупномасштабных термохалинных полей рекомендовано проводить на основе мониторинга верхнего слоя океана в информативных точках четырех однородных районов Норвежской ЭАЭО.

6. Результаты анализа изменчивости полей среднемесячной температуры поверхности Норвежской ЭАЭО по оперативным данным за 1977-1985 гг. однозначно согласуются с полученными результатами обработки климатологической информации. Временная изменчивость среднемесячной температуры формируется взаимодействием нескольких слабоустойчивых циклических компонент (с периодами 3-6, 9-14, 25-35 мес.) и трендовых составляющих в сочетании со случайной компонентой, что ограничивает статистическую предсказуемость полей аномалий температуры воды (1-2) месяцами. Стохастическое моделирование полей среднемесячной температуры воды Норвежского моря является, согласно полученным оценкам, наиболее эффективным методом предсказания короткопериодных колебаний термического режима.

Основные результаты работы изложены в публикациях:

1. Вайновский П.А. Изменчивость температуры поверхности воды Норвежской энергоактивной зоны по современным данным. - Л.: ЛПМИ, 1986. - 7 с. Деп.ВИНИТИ № 8461-В81.

2. Вайновский П.А. О факторном анализе вертикального распределения плотности воды / Методы и средства исследования Мирового океана. - Л.: ЛПИ, 1984. - С.19-22.

3. Вайновский П.А., Титов Ю.Э. Практические аспекты применения многомерного анализа. - Л.: ЛПМИ, 1986. - 17 с. Деп. ВИНИТИ № 8462-В86.

4. Вайновский П.А., Титов Ю.Э. О структуре термохалинных полей деятельного слоя Норвежского моря / Исследования крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы в Северной Атлантике. - Л.: ЛПИ, 1986. - С.75-82.

М-20460. Подписано к печати 9.03.84. Заказ 635  
Тираж 100, формат бумаги 60x84 1/16, 1 печ.л. Бесплатно.  
Ротапринт тип. № 2 "Ленуприздата".  
191104, Ленинград, Литейный пр., дом № 55.