

ОДЕССКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ДЖОНСОН Рейнольд Годфрей

УДК 551.54 + 551.466.33 (261)

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ И ПРОГНОЗ СПЕКТРАЛЬНЫХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛНЕНИЯ В ТРОПИЧЕСКОЙ ЗОНЕ  
АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНА ПРИ ХАРАКТЕРНЫХ  
СИНОПТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

II.00.09 - метеорология, климатология,  
агрометеорология

II.00.08 - океанология

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Одесса - 1988

Работа выполнена в Одесском гидрометеорологическом институте.

Научный руководитель: кандидат географических наук, доцент Вильданова М.И.

Официальные оппоненты: доктор географических наук, профессор Давидан И.Н.; кандидат географических наук Андриященко В.Ф.

Ведущая организация: Ордена В.И. Ленина гидрометеорологический научно-исследовательский центр СССР

Защита состоится 25 февраля 1988 г. в 10 00 часов на заседании специализированного совета в Одесском гидрометеорологическом институте, ауд. 312.

С диссертационной работой  
гидрометеорологического

Автореферат

Отзывы и  
учреждения, г. Одесса, 270

Ученый  
специалист  
к. с. н.

### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Разработка методов прогноза волн (высота, длина) в тропической зоне Атлантического океана необходима для внедрения в практику океанологического обеспечения прогноза структуры полей волнения (высоты, длины), обеспечения безопасности мореплавания, решения народнохозяйственных задач, связанных с морем, для развивающихся стран на побережье океана, выбора оптимальных путей плавания судов и правильного планирования морских операций, при проектировании судов.

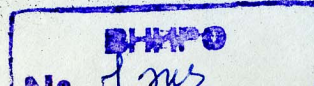
Изучение закономерности циркуляционного поля в атмосфере у поверхности океана, распределение ветра и волн в тропической зоне Атлантики необходимо также в научном плане при исследовании взаимодействия океана и атмосферы.

Разработка метода прогноза элементов волн в тропической зоне Атлантики стала особенно актуальной в связи с организацией новых межконтинентальных морских линий, освоении рыбопромысловых районов и добычей полезных ископаемых на шельфе у побережья Западной Африки. Для стран этого региона внедрение в практику океанологического обеспечения прогноза характеристик волнения является вопросом не только исключительно важным, но и новым.

Объектом исследования диссертационной работы является тропическая зона Атлантического океана, изучение элементов волн (в основном высота). В последние годы к этому району направлены усилия многих исследователей. Это продиктовано тем, что тропическая зона определяет многие процессы взаимодействия океана и атмосферы в тропиках и умеренных широтах. Однако отсутствуют сведения о длинах волн, которые представляют исключительно большой интерес для научных исследований и планирования морских операций в районе исследования.

Цель работы состоит в изучении условий формирования полей волнения в тропической зоне Атлантики на основе методов вероятностного анализа волнения, и разработка на их основе методики оперативного прогноза высоты и длины волн.

Научная новизна. Впервые был составлен оперативный автоматизированный прогноз поля длин волн в малоизученном районе тропической Атлантики. Нам известно составление прогнозов только высот волн. Определена возможность использования спектрального метода для составления прогноза полей волнения для условий тропической Атлантики, путем уточнения количества членов в правой части урав-



нения баланса волновой энергии в спектральной форме.

Получено представление о распределении длин волн с учетом волн зыби, установлены их предельные возможные значения. Определена степень применимости аппроксимативных формул для частотно-направленных спектров для расчета спектральных характеристик волнения для условий тропической зоны Атлантики.

Практическая ценность и реализация работы. Полученные в работе результаты оценки предельных значений характеристик волнений могут служить для определения условий плавания и промысла в тропической зоне Атлантики. Данные о длинах волн могут быть использованы для определения деятельного слоя в океане (в районе прогноза) и для определения зон с благоприятными условиями для осадки судов, их перемещения с учетом тактико-технических судовых характеристик.

Результаты апробирования вероятностной гидродинамической модели для различных синоптических условий могут служить основанием для использования разработанного автоматизированного способа прогноза высоты и длины волн для оперативного обеспечения моряков, гидротехнических работников и других специалистов, деятельность которых связана с океаном. Результаты прогноза тоже имеют большую научную и практическую ценность для молодых прибрежных государств западной Африки, для пополнения и улучшения уровня океанологического обеспечения.

Апробация работы. Отдельные научные результаты работы докладывались и обсуждались на:

I. Отчетных конференциях в Одесском гидрометеорологическом институте (1985, 1986 и 1987 гг.); отчетной научной конференции института по итогам научно-исследовательской работы, посвященной 70-летию Великого Октября (14-16 апреля 1987 г.); второй интернациональной научной конференции молодых ученых и выпускников Одесского гидрометеорологического института (19-27 сентября 1987 г.); конференциях молодых ученых в Одесском отделении государственного океанологического института (1986 г.); семинаре бюро погоды ВичАМ (1987 г.).

Публикации. По теме диссертации задепонирована одна статья (инв. № 600 ГМ).

Объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, списка использованной литературы (103 названия) и двух приложений. Общий объем работы 108 страниц. Диссертация содержит 17

рисунков, 18 таблиц, 31 страниц приложения и распечатки ЕС-программы, разработанной автором.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении определен объект исследования диссертационной работы - барическое поле, поле ветра, поле высоты и длин волн тропической зоны Атлантического океана. Раскрывается актуальность темы, изложены цели и задачи работы, кратко сформулированы основные положения, представляющие предмет защиты.

В первой главе рассмотрено состояние вопроса и дан краткий обзор основных положений современных методов исследования морского волнения, способов расчета и прогноза их характеристик (высота, период, длина).

Рассмотрены основа положения вероятностной гидродинамической модели, область ее применения для целей как исследования режима, так и для оперативного составления прогноза.

Вероятностная гидродинамическая модель основана на решении уравнения баланса волновой энергии в спектральной форме, описывающее развитие, распространение и затухание волн на глубокой воде:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{\partial S}{\partial t} + v_x \frac{\partial S}{\partial x} + v_y \frac{\partial S}{\partial y} = G \quad (1)$$

где  $S = S(\omega, \theta, x, y, t)$  - спектральная плотность волновой энергии, зависящей от частоты  $\omega$ , направления распространения  $\theta$ , спектральных составляющих, координат  $x, y$ , время  $t$ ;  $v_x$  и  $v_y$  - составляющие вектора групповой скорости переноса волновой энергии;  $G$  - функция, включающая все факторы, ответственные за рост, развитие, распространение и затухание спектральных составляющих. Правая часть уравнения (1) записывается в виде:

$$G = (\alpha + \beta S)(1 - \mu) + \Gamma - \tau S \quad (2)$$

где функции  $\alpha$  и  $\beta$  зависят от скорости ветра, частоты  $\omega$ , угла  $\theta$  и описывают два различных механизма передачи энергии от ветра волнам; параметр  $\mu$  учитывает диссипацию энергии при обрушении гребней волн;  $(\Gamma - \tau S)$  учитывает влияние нелинейных взаимодействий.

На основе рассмотренного состояния вопроса и обзора методов расчета и прогноза характеристик волнения был сделан выбор направления и определены методы исследования, приемлимые для условия тропической Атлантики.

Методы исследования и приемы, использованные в диссертационной работе, определялись следующими положениями:

Из-за отсутствия регулярной информации о ветровых полях, источником такой информации о них могут служить исследование барических полей и надежный способ перехода от полей атмосферного давления к полям ветра. Отсутствие надежной информации о волнении в тропической части Атлантики и данных о длине волн влияет не только на возможность разработки надежного метода расчета и прогноза характеристик волн, но и уменьшает возможность оценить их качество. В таких условиях на первый план выступают численные методы восстановления этих полей по пространству. В качестве рабочего метода рассматривается гидродинамическая вероятностная модель, которая в настоящее время не имеет методической разработки. Гидродинамическая вероятностная модель, основные положения которой кратко изложены выше, может быть реализована только на ЭВМ, поэтому при исследовании необходимо разработать алгоритм и программное обеспечение рабочей модели.

Рассмотрены известные методы исследования, на основе которых решена задача диагностического расчета полей ветра, высот волн и его периодов для акваторий, недостаточно освещенных наблюдениями, разработан алгоритм вычисления спектральных характеристик волнения и прогностические высот и длин волн.

Во второй главе дано описание физико-географических и климатических особенностей тропической зоны Атлантики. Здесь определены границы акваторий, где основное внимание уделялось гидрометеорологическим процессам, которые в той или иной степени влияют на ветроволновой режим. Рассмотрены особенности атмосферной циркуляции, связь ее с полями характеристик волнения. Проведена типизация атмосферных процессов и выделены характерные волнообразующие условия. Выпслнено районирование акватории тропической зоны по режиму ветра и волнения.

Район исследования 20° с.ш. - 20° ю.ш., где наблюдаются сезонные смены направления ветров. В этих границах тропическая зона Атлантики охватывает часть крупномасштабных областей высокого давления - азорского и южноатлантического антициклонов, зону пассатов

и зону внутритропической зоны конвергенции (ВЗК), где преобладают малоустойчивые и слабые ветры. В этой зоне наблюдается сложное поле волн от ветрового до смешанного. Длины волн в исследуемом районе имеют размеры от десятка до сотни метров, в основном за счет волн зыби.

На характер и изменчивость ветровых и волновых полей оказывают влияние действующие над районом три основные барические системы: азорский и южноатлантический антициклоны на севере и юге соответственно и приэкваториальная ложбина. Ветровой и волновой режимы в этих системах меняются в довольно широких пределах - от 2-12 м/с и от 1-5 м соответственно.

Режимные особенности ветра и волнения достаточно освещены, но для разных обеспеченностей, которые не всегда отражают реальные волновые поля. Данные о длинах волн в метеосводках вообще отсутствуют. Данные о ветре и волнении в исследуемой акватории разрозненны и крайне редки.

Анализ факсимильных приземных карт давления показывает, что по мере приближения к экватору градиенты давления ослабевают и в экваториальной зоне достигают минимальных значений.

В рамках принятой границы тропической зоны Атлантики можно выделить три основные системы ветров: система пассатов северного полушария, система пассатов южного полушария и система ветров экваториальной ложбины. Преобладающее направление пассатов в северном полушарии - это восточно-северно-восточное, в южном - восточно-юго-восточное.

Скорости ветра в пассатной тропической зоне зимой больше, чем летом, и в южном полушарии больше, чем в северном. По многолетним данным максимальная скорость ветра в январе наблюдается на широте около 10° в северном полушарии и второй максимум - на широте около 20° в южном полушарии. В июле главный максимум скорости ветра располагается примерно на 15° с.ш., а второй максимум - на 20° с.ш.

Таким образом, зимой соответствующего полушария зона максимальных ветров смещается на 5-10° в направлении экватора, в то время как зона минимальных скоростей ветра совпадает с полсеверным экваториальной ложбины.

В экваториальной ложбине скорости ветра обычно не превышают 2 м/с.

В южной тропической зоне Атлантики на формирование ветровых полей определяющее влияние оказывает южноатлантический анти-

циклон. Скорость ветра колеблется от 5 до 12 м/с. Установлено из анализа приземных факсимильных карт, что в этих условиях формируются устойчивые пассатные ветры. В пассатах южной полушария скорость ветра составляет 4-8 м/с. В некоторых районах прослеживаются муссонные потоки.

В поле волнения в исследуемой акватории выделены следующие особенности. Область максимальных высот волн находится на северной и южной границах антициклонов обеих тропических зон соответствующих полушарий. По расчетам высота волн изменяется от 1 до 5 м и больше, периоды от 3 до 12 секунд и длины от 70 до 400 м. Выявлено, что длинные волны в тропической зоне Атлантики развиваются, как правило, за счет волн зыби, приходящих в район из умеренных и субтропических широт.

Для анализа полей волнения и синоптических условий использованы ежедневные карты погоды (всего 918). По этим материалам выполнена типизация синоптических процессов, при которых формируются разнообразие волновых полей.

Для пяти основных типов выполнены расчеты высот и длин волн по вероятностной гидродинамической модели. Полученные поля могут служить для определения предельных размеров волн в тропической зоне Атлантического океана, а также для ориентировочной оценки характеристик волнения по картам погоды, синоптическая топография которых согласуется с типовой.

В диссертационной работе приведены таблицы, карты, характеризующие режимные особенности волнения, ветра высот и длин волн.

В третьей главе приводятся результаты численных расчетов и прогнозов спектральных характеристик волнения в тропической зоне Атлантики на основе вероятностной гидродинамической модели.

Выполнена верификация автоматизированного метода прогноза спектральных высот и длин волн. Для этого было детально проанализирована последовательность приземных карт, характеризующих барические и ветровые поля в указанном районе, за период 1985-1987 гг.

Область представлена прямоугольной сеткой с пространственным шагом 300 км и шаг по времени 0,5 часа. В каждом узле сеточной области двумерный спектр волн аппроксимировался набором дискретных спектральных составляющих  $S(\omega, \theta_i)$  семью частотами с шагом 0,19 рад/с и 12-ью направлениями через  $30^\circ$ , при  $\omega_{\max}$ , вычисленной по реальному ветру.

По картам погоды (анализ барического поля) вычисляются исход-

ные поля ветра. Второй вариант - исходными являются ветроизмерительные данные. По полям ветра вычисляются начальные условия - характеристики поля волнения (высота, период и направление волн) и начальный двумерный спектр. При прогнозе по прогностическим картам погоды последовательно оценивается количество энергии, передаваемой волнам ветром, составляющие  $(\alpha + \beta S)$ , в соответствии с вероятностной гидродинамической моделью. Множитель  $(1 - \mu)$ , учитывающий обрушение волн и наличие в спектре ветрового волнения равновесной области, оценивается по вычисленным спектральным плотностям, с учетом спектра Пирсона-Московица для полностью развитого волнения. Параметры, учитывающие нелинейное взаимодействие между спектральными составляющими  $(\Gamma - \tau S)$ , вычислялись по формулам, полученным Барнеттом. Заблаговременность прогноза 1-3 суток.

Прогнозы высоты и длины волн составлены для 15 различных синоптических условий 1985-1987 гг. - всего 3213 суточных и 1260 - 3-х суточных прогнозов или 51 поле с 1-суточным и 21 поле - с 3-х суточным. По этим материалам анализировались анемобарические условия, начальные поля высот и длин волн и их изменения к концу прогностического периода. В трех выбранных по курсу следования судов из порта Фритауна в трех направлениях проанализирован временной ход дискретных значений высот и длин волн, и формирующих факторов (вклад составляющих функции источника). На их основе решались задачи:

1. Анализ экспериментальных прогнозов. Оценка их качества и возможность использования их для организации грузоперевозок торговыми судами Сьерра-Леоне и гидрометобеспечения отечественного рыбного промысла.

2. Анализ промежуточных результатов и оценка роли каждой из компонентов функций источника энергии, за счет которой формируются волны в тропической зоне.

3. Отработка технологии оперативного составления численного прогноза высоты и длин волн на основе апробированной гидродинамической вероятностной модели.

Анализ экспериментальных прогнозов показал, что скорость ветра на основе расчетов отмечалась в пределах от 0 до 15 м/с, высота волн - от 0,25 до 5 м, длины - от 30 до 300 м. Осенью пассатный ветер обусловил формирование штормовых зон с длинными волнами - до 200-250 м и высотой 3,5-5 м.

При подходе к Фритауну длина волны составляла 75-150 м (по расчетам). Преобладающее время установления волнения 3-6 часов (в зоне умеренного и сильного ветра со скоростью не более 5-7 м/с).

Из 3213 прогнозов оценено 376, оправдалось с точностью до  $\delta = 15\% - 92.8\%, 30\% - 86.5\%$ .

Поля длин волн сравнивались с диагностическими. Из 63 точек сеточной области оказались близкими с точностью до ошибки  $\delta = 15\%$  51 точка или 80,9%.

В заключении кратко сформулированы основные результаты работы, имеющие характер новизны.

1. Характерные для тропической зоны Атлантического океана анемобарические условия определили сложную статистическую структуру полей волнения, наличие волн разных систем (зыби, ветрового волнения, смешанного волнения), одновременное образование зон установившегося или неустановившегося волнения и штормовых зон.

2. С учетом статистической структуры полей волнения в тропической зоне выделяются шесть зон, границы которых согласуются с зонами влияния центров действия атмосферы и их взаимодействия в тропической зоне Атлантики. Приэкваториальные районы характеризуются преобладанием слабого и умеренного волнения, но длинными волнами - от 150 до 200 м. Не наблюдаются сезонные смены ветров.

На судоходных трассах отмечаются сложные условия с предельными значениями высот волн до 5 м и длин от 30 до 250 м. Опасные градации ветра (11-15 м/с) при южном и юго-западном ветре отмечаются в июне и июле месяцах. В промышленных районах, у Африканского побережья, преобладают в основном юго-западные, а зимой северо-восточные потоки, вероятность волнения высотой свыше 3,5 м составляет более 8%, в мае-июне возможны очень опасные длины волн - до 250-300 м.

3. Анемобарические условия формирования полей волнения могут быть представлены пятью основными типами полей высот и длин волн. Для них получены предельные значения высоты и длины волн.

4. Использование гидродинамической вероятностной модели оказалось эффективным для описания волнения в исследуемой акватории тропической зоны. Принятые в модели аппроксимативные выражения для  $S(\omega, \theta, x, y, t)$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\mu$ ,  $\Gamma$ ,  $\tau$  отражают выявленные в тропической зоне особенности формирования волнения. При оценке роли источников энергии, обуславливающих зарождение, рост и развитие волн, выявлено, что основной вклад вносят компоненты  $\alpha$  и

$\beta$ , которые в свою очередь определяются ветром. Адекватность модельного поля волнения реальному зависит прежде всего от надежности информации о ветре в открытых районах океана.

5. На основе вероятностно-гидродинамической модели разработан автоматизированный способ прогноза высот и длин волн в расчетной сетке, размерность  $N \times M$ . Способ задания начальных полей (штиль или от значений диагностических полей высоты волн) не имеет принципиального значения. Но при задании нулевых начальных значений увеличивается число итераций. Поэтому при наличии достаточного числа судовых наблюдений целесообразно начальные поля высот волн строить на их основе, не обращаясь к модели.

6. Обеспеченность расчетной высоты составила 82-97%, оправдаемость прогнозов высот волн - 79-86%.

Рассчитанные поля длин волн вполне удовлетворительно согласуются с опубликованными сведениями о размерах длин волн в исследуемой акватории тропической зоны Атлантики.

7. Для совершенствования разработанного метода необходимо провести специальные наблюдения за волнением в исследуемом районе, включая Гвинейский залив и побережье республики Сьерра-Леоне, с учащенной по времени и пространству регистрацией атмосферного давления, скорости ветра, с инструментальным (волнографным) и визуальными определениями высот и длин волн.

*R. G. G.*