

Х

Главное Управление Гидрометеорологической Службы
при Совете Министров СССР

ОРДЕНА ЛЕНИНА АРКТИЧЕСКИЙ И АНТАРКТИЧЕСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

Г.В.АЛЕКСЕЕВ

ФИЗИКО-СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕПЕРИОДИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ
УРОВНЯ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

(051 геофизика)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук

Л е н и н г р а д

1969

Работа выполнена в Ордена Ленина Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте

Научный руководитель -

Доктор физико-математических наук, профессор Е.П.Борисенко

Официальные оппоненты:

Доктор географических наук, профессор К.И.Кудрявая

Кандидат физико-математических наук И.А.Дюбкин

Ведущее предприятие: Ленинградское отделение Государственного
Океанографического института

Автореферат разослан "13" XI 1969 г.

Защита диссертации состоится "17" XII 1969 г.

на заседании Ученого Совета Ордена Ленина Арктического
антарктического научно-исследовательского института

С диссертацией

ученый

551.46
A44

- I -

Непериодические колебания уровня представляют собой одно из наиболее значительных проявлений движения вод в арктических морях. Диссертация посвящена изучению структуры этих колебаний в летнее (навигационное) время, выяснению роли ветровых полей различных масштабов в формировании непериодических колебаний в целом и штормовых стонов и нагонов в отдельности и некоторым приложениям полученных результатов к расчетам и прогнозам уровня. Исследования в этом направлении имеют важное значение для расширения знаний о природе непериодических колебаний уровня и совершенствования существующих методов их прогноза, а также способствуют выяснению структуры других динамических процессов в море. Для решения поставленных задач применены представления и методы теории случайных функций, статистического анализа линейных систем и физические аспекты гидродинамического моделирования исследуемых явлений.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений.

Во введении формулируются задачи диссертации и указывается на связь исследований непериодических колебаний уровня с общей проблемой изучения структуры гидрометеорологических процессов.

В первой главе изложены методические основы работы. Кратко рассмотрены необходимые понятия теории случайных функций. Обращено внимание на то, что спектральное разложение является частным случаем представления случайных функций в виде ортогональных рядов с некоррелированными коэффициентами, которое использовано, например, в методе канонических разложений В.С.Пугачева и в известных в гидрометеорологии разложениях полей на естественные составляющие, введенное в работах Н.А.Багрова и А.М.Обухова.

12/22

Рассмотрены возможности изучения колебаний уровня в реальном море с помощью методов статистического анализа линейных систем. Известно, что линейные гидродинамические модели ветровых колебаний уровня являются практически единственным теоретическим приближением, которое используется для расчетов уровня в реальном море и дает удовлетворительные результаты (П.Веландер, Н.Е.Вольцингер и Р.В.Пясковский). Уравнения этих моделей можно рассматривать как операторы соответствующих динамических систем, осуществляющих преобразование тангенциального напряжения ветра на поверхности моря в колебания уровня у побережья. С этой точки зрения показано, что аналитические выражения для колебаний уровня в замкнутых бассейнах несложной формы (Н.А.Багров, П.А.Киткин, Б.А.Тареев, Г.И.Гершенгорн) связаны между собой и могут быть интерпретированы как динамические характеристики соответствующих линейных систем, а интегральный метод решения, примененный Г.И.Гершенгорном, можно рассматривать как способ сведения системы к одномерной.

Основная задача исследования линейной системы состоит в определении ее весовой функции (или функции влияния) $w(\tau)$, которая связывает процесс на выходе системы $y(t)$ с известным прошлым процесса на входе $x(t)$:

$$y(t) = \int_0^{\infty} w(\tau) x(t-\tau) d\tau$$

Это может быть осуществлено либо путем решения уравнений, составляющих оператор, либо с помощью статистических методов, примененных к известному прошлому процессов $x(t)$ и $y(t)$. (Эквивалентность обоих подходов при использовании регрессионных методов показана Н.А.Багровым и Д.Гаррисом).

В настоящей работе для этой цели применены методы статистического анализа линейных систем, развитые в теории автоматов -

ческого управления (В.Б.Давенпорт и В.Л.Рут, В.С.Пугачев, В.В.Солодовников). Эти методы основаны на свойствах линейных операторов и случайных стационарных функций, реализациями которых могут быть представлены процессы на входе и выходе системы. Функция $w(\tau)$ и другие важные характеристики системы (амплитудная и фазовая характеристики, когерентность и др.) определяются из интегрального уравнения для корреляционных функций

$$R_{xy}(\tau) = \int w(\tau_i) R_x(\tau - \tau_i) d\tau_i,$$

решение которого осуществляется с помощью преобразования Фурье. В результате для искомых характеристик получаются простые выражения через спектральные плотности.

При исследовании колебаний уровня в качестве процесса на входе системы принимаем изменения ветровых полей над морем, которые представлены с помощью интегральных параметров типа используемых в эмпирических методах прогнозов уровня наборов градиентов атмосферного давления, среднего ветра над морем и т.п. На выходе рассматриваем колебания уровня в определенном пункте побережья, предполагая, что эти колебания возникают только под воздействием ветровых полей.

Основным методом исследования структуры колебаний уровня и изменений ветровых полей в работе являются расчеты корреляционных функций и спектральных плотностей. Вопросы статистической оценки этих характеристик освещены в последнем параграфе первой главы.

В качестве оценки спектральной плотности использовано преобразование Фурье взвешенной корреляционной функции. Известно (Р.Блэкман и Д.Тьюки, Г.Дженкинс, М.Пристли, В.С.Пугачев,

Э.Хеннан), что такое взвешивание эквивалентно сглаживанию спектра и приводит к уменьшению дисперсии оценок спектральной плотности, но одновременно ухудшает их разрешающую способность. В составленной программе расчетов на ЭВМ "Урал-2" спектральных плотностей и динамических характеристик линейной системы предусмотрено вычисление как сглаженных, так и несглаженных оценок спектральной плотности, которое облегчает выделение пиков в спектрах на близких частотах.

Во второй главе рассмотрены некоторые методические вопросы, возникающие в практике обработки, расчетов и прогнозов непериодических колебаний уровня в арктических морях.

Анализ различных методов сглаживания позволил сравнить их эффективность при устранении наиболее заметных в арктических морях полусуточных приливов, и вместе с тем, оценить степень ослабления сгонно-нагонных составляющих колебаний уровня. Кроме того исследовано возникновение ложных периодов в рядах уровня при значительных интервалах между отсчетами, а также рассчитаны ложные периоды в рядах среднесуточных уровней, появляющиеся за счет неполноты сглаженных приливных и сгонно-нагонных составляющих.

Показаны особенности формулировки задачи оптимальной интерполяции колебаний уровня у побережья, которые вытекают из условия неизотропности поля денивиляций уровенной поверхности. Учет добеганий непериодических возмущений уровня, распространяющихся вдоль побережья, позволил получить в дополнение к синхронным пространственным интерполяционным формулам еще и пространственно-временные, в том числе формулы естественной пространственно-временной экстраполяции.

Исследована точность прогнозов неперiodических колебаний уровня с помощью простейшей эмпирической схемы типа уравнения регрессии при различных ситуациях, встречающихся в практике прогнозирования. Установлено, что использование приращений не повышает эффективности прогноза по сравнению с обычной схемой, где используются отклонения от среднего значения.

Предварительное сглаживание прилива при построении уравнения, связывающего колебания уровня с изменениями параметра ветровых полей, также не увеличивает эффективность прогноза уровня. Введение поправки на фактический уровень в момент прогноза дает положительный эффект лишь при условии, если заблаговременность расчета меньше, чем половина радиуса затухания нормированной автокорреляционной функции уровня в данном пункте.

В третьей главе работы изложены результаты исследования статистической структуры неперiodических колебаний уровня под воздействием ветровых полей. Используемые материалы включают ряды наблюдений за уровнем в 14 пунктах арктического побережья от о.Диксон до м.Шмидт и за атмосферными процессами в летнее время 1961-1967 годов. Полусуточные приливы исключались. Ряды имели дискретность 6 часов, реже 3 часа. В качестве параметров ветровых полей использованы градиенты атмосферного давления по эффективным направлениям и средний ветер над морем. Эти параметры, предложенные ранее Н.В.Мустафиным, хорошо зарекомендовали себя в практике прогнозирования.

В работе приведены данные о количестве использованных материалов и характеристики точности расчетов корреляционных функций и спектров. Анализ полученных результатов позволил определить основные черты пространственной, временной и частотной структуры

непериодических колебаний уровня и параметров ветровых полей, которые состоят в следующем.

На западе рассматриваемого района преобладают крупномасштабные изменения уровня (с периодами свыше 6 суток). В центральной части (море Лаптевых) весьма значительна роль возмущений уровня синоптических масштабов (1 - 6 суток), которая в меньшей степени сохраняется и на востоке (Восточно-Сибирское море). При этом в интервале синоптических масштабов выделяются устойчивые пики спектральной плотности на частотах 0,25, 0,45 - 0,50, 0,60 - 0,75 и 1,0 циклов/сутки, из которых наиболее значителен пик на частоте 0,25 циклов/сутки. Этот пик обнаруживался ранее (В.Хамон, Л.Г.Топорков, В.Е.Привальный) в спектрах уровня, а также атмосферного давления в ряде пунктов на побережье морей и океанов.

Подобные особенности в области синоптических масштабов установлены и в спектрах параметров ветровых полей над морями Лаптевых и Восточно-Сибирским. Такое совпадение указывает, что распределение плотности энергии непериодических колебаний уровня связано с воздействием ветровых полей, выделенные же области частот с повышенным уровнем спектральной плотности являются зонами энергоснабжения динамических процессов в рассматриваемых районах.

Отличия в структуре колебаний уровня различных морей, по-видимому, объясняются особенностями их орографии и различием характерных масштабов ветровых полей над ними. Известно, что соотношение этих двух моментов определяет возможность резонанса при вынужденных колебаниях воды в море. В работе установлено, что такого рода колебания могут развиваться в море Лаптевых при частотах изменения вынуждающей силы около 0.50 и 0.70 циклов/сутки.

Полученные сведения о структуре колебаний уровня позволили сделать следующие выводы. Прежде всего на их основе проведено сравнение условий прогнозирования колебаний уровня в различных морях с помощью значений возможной заблаговременности инерционных прогнозов и уточнены возможности применения стационарных моделей к исследованию колебаний уровня в этих морях. По пространственным корреляционным функциям уровня оценено приближенно среднее расстояние между пунктами, необходимое для наблюдений уровня в арктических морях. Результаты же спектрального анализа показали масштабы энергетически наиболее значимых составляющих колебаний уровня, выделение которых, очевидно, может повысить эффективность их предсказания. Однородность структуры уровня в пределах ограниченных участков побережья создает условия для решения задачи его оптимальной интерполяции в пределах таких участков, а пространственно-временные корреляционные функции дают необходимые для этого данные.

Далее в работе исследуется распространение неперiodических колебаний уровня вдоль побережья. Это явление обнаружено в арктических морях при изучении стонов и нагонов, вызываемых движущимися циклонами (Н.А.Лабзовский, Н.П.Булгаков и Б.А.Крутских, Н.В.Мустафин). В работе рассматривается вопрос, насколько характерно это явление для процессов неперiodических колебаний уровня в целом и каковы его особенности вдоль рассматриваемого побережья морей. Расчеты взаимных корреляционных функций, когерентностей, фазовых характеристик показали, что связь между колебаниями уровня в различных пунктах побережья прослеживается до весьма значительных расстояний между ними. Наиболее тесная связь приходится

на область синоптических масштабов, в которых ранее установлена локализация максимумов спектральной плотности колебаний уровня. Сдвиг максимумов взаимных корреляционных функций по оси τ и разность фаз составляющих колебаний уровня в двух пунктах во всех случаях соответствуют распространению возмущений уровня с запада на восток и возрастают пропорционально расстоянию между ними. Кроме того эти характеристики связаны между собой соотношением, справедливым для прогрессивной гармонической волны. Интервал частот, в котором выполняется это соотношение, сужается, начиная с высоких частот, при увеличении расстояния между пунктами. Совпадение времени добегания непериодических возмущений уровня и времени распространения свободной волны между пунктами в прибрежной мелководной зоне позволило выдвинуть предположение о распространении непериодических возмущений уровня в среднем как свободных прогрессивных волн.

Трансформация непериодических колебаний уровня при распространении вдоль побережья характеризуется осредненной лаг-ранжевой корреляционной функцией, построенной по максимумам взаимных корреляционных функций. Масштаб лагранжевой корреляции больше масштаба эйлеровой для колебаний уровня в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском, в Карском море наблюдается обратная картина. Спектр полученной оценки лагранжевой корреляции близок к кривой закона $5/3$ за исключением участка масштабов, на которые приходится поступление энергии от барических образований, замороженной турбулентности соответствует лагранжев спектр типа δ - функции, а флуктуациям типа белого шума - равномерное аспределение спектральной плотности по оси частот. Отсюда стрый лик лагранжева спектра исследуемого процесса на нулевой

частоте характерен при слабо затухающих флуктуациях, а "размазывание" этого пика по оси частот показывает на интенсивную диссипацию энергии этих флуктуаций при их распространении. Близость полученного спектра к кривой закона $5/3$, по-видимому, свидетельствует о том, что сток энергии неперiodических возмущений уровня при распространении их вдоль побережья осуществляется посредством механизма типа однородной турбулентности.

Учитывая сохранение составляющих средних и низких частот и быстрое затухание высокочастотных компонент в распространяющихся вдоль побережья возмущениях уровня, поставлена задача предвычисления низкочастотных компонент в заданном пункте по известным колебаниям уровня в другом пункте. При этом полезно представить низкочастотный фильтр с запаздыванием, на входе которого заданы колебания уровня в западном пункте побережья, а на выходе получают колебания уровня в восточном пункте, возникающие через время добегания τ . Кроме низкочастотных компонент, "отфильтрованных" при распространении возмущений уровня между пунктами, на выходе присутствует "шум" в виде высокочастотных компонент, некоррелированных с колебаниями на входе и возникающих под влиянием местных условий. В работе вычислена весовая функция такого фильтра для пары удаленных (на 1400 км) друг от друга пунктов побережья. Расчеты показали, что с помощью этой весовой функции предвычисляется только фоновая составляющая колебаний уровня, амплитуда которой невелика.

Воздействие ветровых полей на уровень исследовалось на основе развитого в первой главе представления о неперiodических колебаниях уровня как реакции линейной стационарной динамической системы на внешнее воздействие. Статистический анализ системы включал расчеты взаимных корреляционных функций, спектральных

плотностей, когерентностей, фазовых характеристик, модулей амплитудных характеристик и весовых функций.

Тесная связь между колебаниями уровня и параметрами ветровых полей постепенно убывает по мере удаления пунктов регистрации уровня на восток от области оценки ветровых полей. Частотная структура связи показывает преобладающее влияние полей синоптических масштабов, на которые приходится максимумы спектральной плотности. Среднее время запаздывания реакции уровня относительно воздействия, определяемое как интервал сдвига максимума взаимной корреляционной функции, практически не меняется от года к году. По мере удаления пунктов регистрации уровня на восток, время запаздывания возрастает пропорционально расстоянию. Это увеличение запаздывания связано с перемещением ветровых полей до области влияния на уровень в таком удаленном пункте и оно совпадает со средним временем добегания возмущений уровня на такое же расстояние. То же самое показывает частотная структура запаздываний - увеличение сдвига фазы между компонентами вынуждающей силы и уровня на заданной частоте пропорционально расстоянию и совпадает с разностью фаз компонент уровня. Установленные особенности запаздывания подтверждают вынужденный характер распространяющихся возмущений уровня и одинаковую в среднем скорость перемещения ветровых полей и этих возмущений.

Заключительным этапом статистического анализа является определение весовой функции, которая позволяет выразить реакцию системы в виде уравнения свертки. В данном случае колебания уровня в одном из пунктов побережья представлялись в виде

$$h_k = \sum_n w_n p_{k-n},$$

где w_n - дискретный аналог весовой функции,

p - сумма градиентов атмосферного давления над морем.

Весовая функция w_n определена по данным спектрального анализа. Расчет колебаний уровня с помощью трех ее первых значений показал удовлетворительное совпадение с фактическим ходом уровня. Учитывая, что весовая функция была получена без использования условия оптимальности на основе физических соображений о механизме образования ветровых колебаний уровня, можно сделать вывод о приемлемости принципиальных положений использованного подхода к исследованию неперiodических колебаний уровня.

По данным корреляционного анализа получен также ряд прогностических формул типа

$$h_{i,k+\tau} = \sum_n a_n p_{n,k-q(n)} + \sum_j b_j h_{j,k-g(j)},$$

где h_i, h_j - отклонения уровня в пунктах i, j ,

p_n - значение n - параметра ветровых полей,

τ - заблаговременность прогноза,

$q(n), g(j)$ - промежутки времени, значения которых определяются величинами запаздываний и добеганий.

В течение навигаций 1967 и 1968 годов проводилась проверка этих уравнений в оперативной практике прогнозирования уровня, которая показала их достаточную эффективность и возможность практического применения.

В четвертой главе изложены результаты специального исследования штормовых сгонов и нагонов как наиболее значительных неперiodических возмущений уровня у арктического побережья. Материалом для этого исследования послужила выборка из 343 случаев сгонов и нагонов в одном из пунктов моря Лаптевых, относящаяся к 1951-1967 г.г., а также данные о ветровых полях во время развития этих явлений. В результате анализа материалов получены географические положения центров барических образований, выз-

завших наиболее значительные сгоны и нагоны, распределения их основных параметров (радиус, число изобар, давление в центре), величин и продолжительностей сгонов и нагонов, а также сопоставлены повторяемости сгонов и нагонов с формами атмосферной циркуляции Г.Я.Вангенгейма и типами синоптических процессов

Л.А.Дыдинский. Полученные данные дополняют и развивают результаты выполненных ранее исследований В.Г.Корта, Н.А.Лабзовского, Н.П. Бунгакова и Б.А.Крутских, Н.В.Мустафина и имеют важное значение при совершенствовании существующих методов прогноза сгонов и нагонов в рассматриваемом районе, в частности, облегчают выбор интегральных параметров ветровых полей. С помощью распределений размеров барических образований и продолжительности сгонов и нагонов, установлено преобладание барических образований с масштабами около 1700 км и, в меньшей степени, 2400 и 3800 км, и сгонов и нагонов с временными масштабами около 2,2 и 4 суток. Причем временные масштабы сгонов и нагонов соответствуют масштабам барических образований на основе представления о последних как "замороженных" вихрях, перемещающихся со скоростью 40 км/час. Эта величина близка к значениям скорости перемещения циклонов в Арктике, найденным А.И.Рагозиным и К.И.Чуканиным из анализа синоптических карт.

Спектральный анализ серий сгонов и нагонов, вызванных серией следующих друг за другом циклонов, показал, во-первых, совпадение спектров параметра ветровых полей и уровня и, во-вторых, абсолютное преобладание спектральных плотностей на частотах 0,20 - 0,25 и 0,40 - 0,50 циклов/сутки, т.е. на тех же частотах, на которых обнаружены максимумы в спектрах непериодических колебаний уровня в течение всего исследуемого периода. Таким обра-

зом, барические образования установленных выше масштабов, вносят существенный вклад в формирование структуры неперiodических колебаний уровня у побережья морей Лаптевых и Воосточно-Сибирского в летний период и, следовательно, они являются важным источником энергоснабжения вод этих морей.

Дальнейшее изучение сгонов и нагонов, выделенных из общего процесса изменений уровня, связано с использованием специальных методов анализа коротких реализаций, осреднение по которым недостаточно для вычисления состоятельных оценок структуры этих явлений.

Уровенная поверхность реального моря под действием ветра представляется сложным полем денивелиаций. Совокупность поверхностей при сгонах и нагонах может рассматриваться как ансамбль реализаций случайных полей, для которого, в частности, существует система ортогональных естественных функций. Однако, отсутствие наблюдений за уровнем в открытом море не позволяет представить денивелиации всей поверхности. Вместе с тем, ветровые колебания уровня в любом пункте побережья формируются с учетом орографии прилегающей акватории моря и характерных масштабов ветровых полей над ним и отражают движение водных масс на значительной акватории моря. Поэтому система естественных функций, определенная для совокупности реализаций уровня при сгонах и нагонах в одном пункте побережья, будет, по-видимому, характеризовать отмеченные особенности развития этих явлений. Точно также можно определить естественные функции ансамбля реализаций интегрального параметра ветровых полей, вызвавших рассматриваемые сгоны и нагоны. Совместный анализ разложений реализаций

уровня и параметра ветровых полей представляет интерес при выяснении особенностей развития сгонов и нагонов и разработки методов их прогноза.

Если $\{\varphi_q(\kappa)\}$ и $\{\psi_q(\kappa)\}$, $q, \kappa = \overline{1, n}$ — системы естественных ортогональных функций ансамблей реализаций уровня $\{h_i(\kappa)\}$, $i = \overline{1, m}$ и параметра ветровых полей $\{\Delta_i(\kappa)\}$, то как известно, эти реализации могут быть представлены в виде разложений $h_i(\kappa) = \sum_{q=1}^n \nu_{qi} \varphi_q(\kappa)$ и $\Delta_i(\kappa) = \sum_{q=1}^n \mu_{qi} \psi_q(\kappa)$, где ν_{qi} , μ_{qi} коэффициенты разложений, являющиеся линейными функционалами от исходных реализаций. Отсюда, вместо ансамблей реализаций, можно рассматривать системы n некоррелированных между собой последовательностей $\{\nu_i^q\}$, $\{\mu_i^q\}$. Удовлетворительность линейного приближения при описании сгонов и нагонов позволяет надеяться, что имеет место зависимость $\nu_i^q = \mathcal{L}_i \mu_i^q$, по крайней мере, для первых коэффициентов.

В работе использованы реализации уровня и градиента атмосферного давления при сгонах и нагонах, заданные 12 отсчетами через 6 часов. Расчеты естественных функций и коэффициентов разложения выполнялись в двух вариантах: исходные данные представлены в обычной системе отсчетов и в отклонениях от среднего по ансамблю. Попутно проанализированы корреляционные матрицы и полученные средние корреляционные функции рассматриваемых реализаций, по которым рассчитаны спектральные плотности и динамические характеристики связи.

Первые пять составляющих разложения реализаций представляют свыше 95% суммарной дисперсии. Первая функция систем естественных функций сходна со средними по ансамблю и может быть аппроксимирована выражением

$$\varphi_1(\kappa) \approx \bar{x}(\kappa) / \left(\sum_{\kappa} \bar{x}(\kappa) \right)^{1/2}$$

где $\bar{x}(k)$ - среднее по ансамблю.

Кроме того первые пять основных функций ансамблей реализаций уровня и градиента давления сходны между собой, что можно рассматривать как проявление свойства суперпозиции при формировании сгонов и нагонов. Сходны между собой и естественные функции противоположных по знаку явлений (сгон, нагон) и собственные функции противоположных фаз их развития (спад, подъем), что очевидно, объясняется симметрией сгонов и нагонов.

Свойства полученных собственных функций указывают на возможность прогностического применения разложения временных реализаций. В качестве предиктанта и предсказателей естественно принять коэффициенты разложения. Восстановление реализации по предвычисленным значениям коэффициентов очевидно даст прогноз конечного отрезка процесса. Подобная процедура прогноза в некоторой степени связана с идеей А.С.Монина об использовании в целях прогноза оптимально предсказуемых линейных функционалов от прошлого и будущего функций состояния атмосферы. Но в данном случае функционалы от реализаций оптимальны только в смысле сходимости разложения.

В работе рассмотрен прогноз изменения уровня во время сгона от момента минимального уровня до возвращения уровня к исходному состоянию по известным отрезкам реализаций градиента давления и уровня в первой половине сгона. Коэффициенты разложения рассматриваемых отрезков были исходными данными для построения прогностического уравнения в виде

$$\dot{v}_{2,q} = \alpha_2 \mu_{1,q} + \beta_2 \nu_{1,q},$$

где M, M' - коэффициенты разложения уровня и градиента давления в первой половине сгона,

M'' - коэффициент разложения уровня во второй половине сгона.

Так как значимая связь установлена между первыми тремя составляющими разложения, то уравнение имеет место для этих трех коэффициентов (их дисперсия составляет около 95% общей дисперсии).

С помощью полученного уравнения можно предвычислить до 70% общей дисперсии разложения. Искомые значения уровня получаются после восстановления реализации по вычисленным коэффициентам разложения и представляют ожидаемое изменение уровня в течение 36 часов с момента прогноза. Расчеты по предложенной схеме показали удовлетворительное совпадение с наблюдениями (ошибка не превышала 15 см).

В рассматриваемой главе предложены также методы прогноза уровня при сгонах и нагонах с заблаговременностью 12 часов, полученные на основе корреляционных матриц в виде уравнений регрессии.

Итак, основные результаты работы могут быть сведены к следующему.

I. Установлены основные черты временной, пространственной и частотной структуры непериодических колебаний уровня у побережья арктических морей в навигационный период. Выделена область синоптических масштабов (1 - 6 суток) с повышенной плотностью энергии колебаний уровня, в пределах которой обнаружены устойчивые максимумы спектральной плотности на частотах 0,25, 0,45 - 0,50, 0,60 - 0,75 циклов/сутки. Окрестности этих частот, очевидно, являются зонами поступления энергии к водам арктических морей.

2. Источником этой энергии является воздействие локальных ветровых полей, интегральные параметры которых имеют аналогичную структуру спектров в области синоптических масштабов. Положение выделенных максимумов определяется характерными масштабами барических образований в рассматриваемом районе, которые связаны с временными масштабами колебаний уровня соотношением "замороженной" турбулентности.

3. На основе полученных данных о структуре исследуемых процессов сделаны выводы о причинах неоднородности колебаний уровня в различных морях, с возможности локальной интерполяции уровня вдоль побережья, предложена оценка необходимого среднего расстояния между пунктами наблюдения за уровнем, выделены зоны возможных резонансных колебаний уровня, показаны отличия в условиях прогнозирования динамических процессов в различных морях.

4. Исследован режим распространения непериодических возмущений уровня вдоль побережья морей в летний период. Получены устойчивые средние значения времени добеганий возмущений уровня, которые связаны с разностью фаз компонент уровня низких и средних частот соотношением, справедливым для распространения гармонической волны. Основной вклад в распространяющихся возмущениях уровня принадлежит составляющим синоптических масштабов, а диссипация энергии этих возмущений осуществляется через механизм типа однородной турбулентности.

5. Основная часть непериодических колебаний уровня в исследуемом районе может быть представлена как реакция линейной стационарной системы на внешнее воздействие, заданное интегральным параметром локальных ветровых полей. Полученная в работе весовая функция такой системы позволяет рассчитать колебания уровня

по известному прошлому параметра и подтверждает принципиальную возможность использованного подхода к изучению интегральных динамических процессов в море.

6. Выполнено исследование сгонов и нагонов в одном из пунктов побережья на обширном материале, которое позволило установить ряд статистико-динамических характеристик этих явлений. Получены системы статистических собственных функций изменений уровня и параметра ветровых полей при сгонах и нагонах, в которых нашли отражение симметрия рассматриваемых явлений и вынужденный характер сгонов и нагонов. Разложения по естественным функциям позволило перейти от ансамблей реализаций к последовательностям временных коэффициентов разложения параметра вынуждающей силы и реакции уровня, между которыми имеет место корреляционная зависимость.

7. Результаты по статистической структуре уровня и ветровых полей применены к решению задач расчетов и прогнозов уровня в некоторых пунктах побережья. Получены интерполяционные и прогнозистические формулы, которые проверялись в навигации 1967 и 1968 годов. Предложен метод расчета сгонов на основе разложения по естественным функциям.

8. Исследованы некоторые методические вопросы расчетов и прогнозов уровня в арктических морях. Составлены программы расчетов спектральных плотностей процессов и на их основе динамических характеристик линейных систем.

Приложения к работе содержит графики корреляционных функций, спектральных плотностей и динамических характеристик использованных в работе реализаций. Проведены собственные функции сгонов,

нагонов и результаты проверки части предложенных формул в практике прогнозирования.

Основное содержание диссертации изложено в следующих статьях:

1. Алексеев Г.В. К определению зависимости колебаний уровня моря от ветра. Океанология, т.7, вып. I, 1967.
2. Алексеев Г.В., Мурзин А.И., Наукисов А.А., Романов М.А. Разложение по естественным составляющим как основа численного представления полей сплоченности льда и прогноза его перераспределения. Тр. Аркт. и Антаркт. ин-та, т.279, 1966.
3. Алексеев Г.В., Подольская Г.И. Опыт построения интерполяционных и экстраполяционных формул для непериодических колебаний уровня моря. Тр. Аркт. и Антаркт. ин-та, т.281, 1967.
4. Алексеев Г.В. Некоторые вопросы прогноза непериодических колебаний уровня с помощью уравнений регрессии. Тр. Аркт. и Антаркт. ин-та, т.296 (в печати)
5. Алексеев Г.В. Об эффективности сглаживания и влиянии дискретности рядов уровнейных наблюдений при изучении составляющих колебаний уровня моря. Тр. Аркт. и Антаркт. ин-та, т.296, (в печати).

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Г.В.Алексеев

Физико-статистическое исследование непериодических
колебаний уровня арктических морей

Подписано к печати 3.II.69 г. М - 15913
зак. № 84 Тираж 200 экз. Уч. изд. л. 1,0

Бесплатно

Ротапринт ААНИИ, Ленинград, Фонтанка, 34.