

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ  
МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ГОЛОВОРОДЬКО Сергей Владимирович

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА  
И ОБРАТНЫЕ СВЯЗИ ПРОЦЕССОВ КРУПНОМАС-  
ШТАБНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АТМОСФЕРЫ И  
ОКЕАНА В РЕГИОНЕ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ.

04.00.22 - геофизика

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

Севастополь - 1992

Работа выполнена в Морском гидрофизическом институте  
АН Украины

Научный руководитель: доктор физико-математических наук  
Дворянинов Г.С.  
Официальные оппоненты: член-корреспондент АН Украины  
Булгаков Н.П.  
кандидат физико-математических наук  
Ривин Г.С.  
Ведущая организация: Российский государственный гидро-  
метеорологический институт

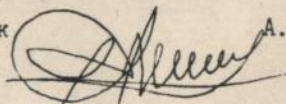
Защита состоится "25" ноября 1992г. в 12<sup>00</sup> часов  
на заседании специализированного совета Д 016.01.01 при  
Морском гидрофизическом институте АН Украины (335000, г.Се-  
вастополь, ул.Капитанская, 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Морского  
гидрофизического института АН Украины (335000, г.Севастополь,  
ул.Капитанская, 2).

Автореферат разослан "14" октября 1992г.

Ученый секретарь  
специализированного совета

канд. физ.-мат. наук



А.М. Суворов

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00816493 (V)

ЛНБ ім. В. Стефаника  
АН УРСР

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одной из важнейших задач исследований короткопериодной изменчивости климата является анализ пространственно-временной структуры и механизмов межгодовой изменчивости атмосферы и океана. До настоящего времени основным источником сведений об этой изменчивости являются данные прямых и дистанционных наблюдений. Их анализ нацелен на изучение процессов формирования крупномасштабных аномалий и структуры пространственного отклика на них со стороны климатической системы (КС). В частности, в формировании крупномасштабных аномалий важную роль могут играть изменчивость облачных полей и потоков тепла в энергоактивных зонах, а также обратные связи (ОС) в системе "океан-атмосфера". С изучением структуры пространственного отклика на такие аномалии связан анализ процессов в тропиках и "дальних связей" с внетропическими широтами. Особое внимание привлечено к региону Северной Атлантики в связи с его важной климато- и погодообразующей ролью для европейского континента.

Изучение перечисленных проблем на основе современных климатических массивов должно опираться на корректное применение методов статистического анализа к адекватной натурной информации. Поскольку климатические статистики содержат шум, затемняющий истинные изменения климата, необходимо разработать метод его оценки в соотношении с полезным климатическим сигналом.

В механизмах крупномасштабной изменчивости важную роль играют ОС в системе "океан-атмосфера". С этих позиций представляет интерес взаимодействие крупномасштабных полей облачности и температуры, поскольку облака могут обеспечивать как отрицательную (за счет отражения поступающей солнечной радиации), так и положительную (за счет поглощения уходящей длинноволновой радиации) ОС с характеристиками термического режима у поверхности. Интегральный эффект этих связей до настоящего времени не установлен.

Цель и задачи исследования. Целью работы является изучение систем пространственно-согласованной климатической изменчивости в регионе Северной Атлантики и роли "знакопеременных" ОС в формировании крупномасштабных флуктуаций. Для достижения намеченной цели были поставлены следующие задачи:

1). Разработать метод оценки отношения климатического сигнала к шуму, обусловленному эффектами выборки и пропусками информации.

2). На основе данных наблюдений о различных параметрах системы "океан-атмосфера" изучить основные масштабы изменчивости и пространственную согласованность процессов в тропических и внетропических широтах Атлантического океана.

3). Исследовать механизм ОС в формировании крупномасштабной изменчивости характеристик облачности и приземной температуры.

Научная новизна. Применение современных методов спектрального анализа к данным глобальных спутниковых и продолжительных натуральных наблюдений позволило получить новые сведения о процессах крупномасштабной изменчивости.

Выявлена связь сезонной и межгодовой трансформации спектров атмосферных тропических возмущений с динамикой внутритропической зоны конвергенции (ВЗК), аномалиями температуры поверхности океана (ТПО) в Гвинейском заливе и явлением экваториальной квазидвухлетней цикличности. Характер связи указывает на возможность трансляции климатического сигнала из тропиков в высокие широты.

Впервые осуществлен пространственно-временной спектральный анализ методом максимальной энтропии компонент теплового баланса в 7 энергоактивных зонах (ЭАЗО) Северной Атлантики. Сделан вывод о преимущественно локальных механизмах теплового взаимодействия атмосферы и океана (ВАО) в диапазоне внутритропической изменчивости, в то время как межгодовые флуктуации характеризуются когерентными колебаниями в тропических, умеренных и высоких широтах.

Различия в пространственной согласованности процессов внутритропической и межгодовой изменчивостей подтверждены анализом

дальних связей поля облачности Северной Атлантики. Обнаружено проявление Северо-атлантического колебания в поле облачности и его тесная связь с процессами межгодовой изменчивости в области ВЗК на востоке Тропической Атлантики. Характер обнаруженных закономерностей согласуется с предложенной Бьеркнесом схемой взаимодействия меридиональных ячеек циркуляции с приэкваториальной циркуляцией Уолкера.

По результатам анализа облачно-радиационных взаимосвязей сделан вывод, что в высоких и умеренных широтах ОС между характеристиками облачности и термического режима могут менять знак в годбвом цикле. В рамках нуль-мерной модели показано, что такой характер взаимодействия обуславливает возникновение режима двухлетней цикличности (ДЦ). Проведено исследование чувствительности ДЦ к внешним и внутренним стохастическим воздействиям. На основе анализа зонально-осредненных рядов облачности, приземной температуры и относительного геопотенциала получено удовлетворительное соответствие эмпирических закономерностей модельным расчетам. Сделан вывод, что возникновение двухлетних колебаний в КС может быть связано с механизмами взаимодействия предложенного типа.

Практическая ценность. Разработан метод оценки отношения "климатический сигнал/шум", учитывающий выборочную изменчивость оценок и средний эффект влияния пропусков информации в массивах данных. Результаты оценки этой величины для глобального спутникового массива облачности представляют интерес для его пользователей.

Выявленные статистические закономерности межгодовой изменчивости параметров атмосферы и океана могут быть полезны при моделировании короткопериодной изменчивости климата и параметризации облачно-радиационных связей.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались на Всесоюзной научно-технической конференции "Теоретические и экспериментальные исследования молодых ученых-океанологов - 40-летию Победы" (Севастополь, 1985), на Всесоюзной школе-семинаре "Актуальные проблемы океанологии" (Ленинград, 1987), на Третьей всесоюзной научной конференции по

исследованию роли энергоактивных зон океана в короткопериодных колебаниях климата (Одесса, 1988), на Всесоюзном совещании-семинаре по спутниковой гидрофизике (Севастополь, 1988), на научных семинарах отдела океанографии Научно-исследовательского центра (Конакри, Гвинея, 1989-91), на научных семинарах отдела взаимодействия атмосферы и океана Морского гидрофизического института АН УССР (Севастополь, 1984-92), на Гидрофизическом семинаре Морского гидрофизического института АН УССР (Севастополь, 1992).

Публикации. Основные результаты диссертации опубликованы в 7 статьях.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка цитируемой литературы. Общий объем работы составляет 159 страниц, включающие 36 рисунков, 16 таблиц и 115 наименований списка литературы.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение посвящено краткому обзору изучаемых в диссертации проблем. Сформулированы цели работы, дана ее характеристика по главам.

Первая глава посвящена анализу сезонной и межгодовой изменчивости волновых возмущений в тропической атмосфере в контексте изучаемых в диссертации проблем. Известно, что структура океанического пограничного слоя в тропиках особенно чувствительна к сезонным изменениям атмосферной циркуляции, а аномалии межгодовых условий имеют важное значение для одного из механизмов дальних связей.

В §1.1 приведена методика используемого в работе спектрального анализа методом максимальной энтропии (ММЭ). Метод основан на такой экстраполяции автокорреляционной функции, при которой характеризуемый ею временной ряд обладает максимальной энтропией, т.е. удовлетворяет наименьшему числу наложенных на него ограничений.

Показано, что для решаемых в диссертации задач ММЭ дает оптимальные оценки частот и амплитуд волновых компонент, а выбор порядка модели должен быть основан на анализе последо-

вательности коэффициентов частной корреляции, поскольку известные информационные критерии некорректны, если природные процессы не соответствуют соотношениям авторегрессии. Приведена схема вычислений, основанная на рекурсивном алгоритме Левинсона.

В §1.2 по данным стандартных метеорологических наблюдений оценены спектры изменчивости тропической атмосферы в области ВЗК на восточном побережье Тропической Атлантики.

В §1.3 на основе информации за 30 лет проанализирована сезонная и межгодовая трансформация спектров в зависимости от положения ВЗК, крупномасштабных аномалий ТПО в Гвинейском заливе, фаз экваториальной квазидвухлетней цикличности.

Расчеты свидетельствуют о сезонном перераспределении энергии возмущений по спектру: в зимний сезон преобладают низкочастотные компоненты с периодами более 30 и около 15 сут., в летний – энергия сосредоточена на масштабах 8, 5–6 и 4 сут. Показано, что такой характер эволюции связан с сезонными миграциями ВЗК, масштабы флуктуаций которой в летний сезон, когда она расположена над изучаемым регионом, соответствуют полученным оценкам волновых компонент. Этот результат важен с точки зрения смены доминирующих масштабов атмосферного воздействия на океан за счет соответствующей модуляции солнечной радиации, потока плавучести и экмановской конвергенции.

На масштабах межгодовой изменчивости обнаружена закономерность повторяемости "зимней" 15-сут. моды, приуроченная к аномально южной позиции зимнего положения ВЗК и повышению ТПО на экваторе. Это согласуется с условиями для передачи сигнала из тропиков в высокие широты посредством двумерных планетарных волн (Hoskins, Karoly, 1981).

Во второй главе на основе многомерного спектрального анализа ММЭ исследуются пространственно-временные взаимосвязи поля теплового баланса (ТБ) Северной Атлантики. Для анализа привлекались среднемесячные ряды компонент ТБ, рассчитанных для 7 ЭАЗО (Тропической восточной и западной, Бермудской восточной и западной, Ньюфаундлендской, Исландской и Норвежской) по данным архивных гидрометеонаблюдений за 1957–74 гг.

(Бирман, Позднякова, 1985).

В §2.1 оцениваются пространственно-временные спектры поля ТБ. Их анализ для диапазона внутригодовой изменчивости указывает на отсутствие когерентного сигнала в пределах различных широтных зон. Доминирует 2-3 месячная изменчивость, в тропиках дополнительно имеется компонента с периодом 7-8 мес. Сделан вывод о локальности процессов теплового ВАО этого диапазона.

На межгодовых масштабах обнаружена согласованность процессов формирования тепловых аномалий в тропической зоне, умеренных и высоких широтах. Показано, что в первом приближении такая согласованность определяется двумя когерентными составляющими, с периодами около 8 и 2 лет, соответственно с южной и северной проекциями фазовых скоростей. Отмечена близость наблюдаемых фазовых сдвигов между процессами в высоких и умеренных широтах закономерностям автоколебаний в системе "северо-атлантическая циркуляция - западно-восточный перенос". Свидетельства связи с тропической зоной получены впервые.

Параграф 2.2 посвящен анализу относительной роли тепловых потоков в формировании спектра ТБ. Показано, что изменчивость ТБ во всем частотном диапазоне обусловлена в первую очередь турбулентными потоками скрытого и явного тепла, особенно в тропических и полярных широтах; вклад поглощенной солнечной радиации существенен на частотах годового хода.

В третьей главе исследуются пространственные структуры, определяющие изменчивость поля облачности Северной Атлантики.

В §3.1 на основе глобального спутникового массива суточных данных о количестве общей облачности в узлах  $5 \times 10^0$  сетки за 1966-82 гг. решается задача оценки "климатического шума" (КШ), "выборочного шума" (ВШ) и их соотношения с "климатическим сигналом". ВШ определен в диссертации как погрешность оценок статистик по выборкам разного объема (за счет пропусков информации).

Предложен эмпирический метод определения дисперсии ВШ по среднеквадратической невязке оценок, полученных по полной и усеченным выборкам. На основе всего массива информации оцене-

на зависимость дисперсии  $\Psi$  от объема выборки и ее погрешность. В Северном полушарии стандартное отклонение  $\Psi$  составляет приблизительно  $0,1 \pm 0,05$  баллов, в Южном, за счет плохой обеспеченности данными -  $0,4 \pm 0,5$  баллов.

$\Psi$  проявляется как доля естественной изменчивости выборочных средних, не связанная с изменениями собственно математических ожиданий (трактуемыми как климатический сигнал). Определение дисперсии  $\Psi$  основано на формуле для дисперсии  $\sigma_E^2$  оценки математического ожидания

$$\sigma_E^2 = \sigma_I^2 T_0 / N$$

$$T_0 = \sum_{\tau=-N}^N (1 - |\tau|/N) \tau(\tau)$$

(где  $N$  - длина выборки,  $\tau(\tau)$ ,  $\sigma_I^2$  - выборочные автокорреляционная функция и дисперсия процесса) в случаях, когда климатический сигнал отсутствует. Выделение таких эпизодов основано на предположении о существенном различии пространственных и временных радиусов корреляции для сигнала и шума. Обнаружено "вырождение" сигнала, приуроченное к осенним и весенним сезонам. Установлено, что уровень  $\Psi$  составляет приблизительно  $0,3-0,4$  балла в индивидуальном узле сетки и эффективно снижается при пространственном осреднении по площади  $0(10^6 \text{ км}^2)$ , что соответствует отфильтровыванию синоптического фона. Выделены регионы значимой на уровне  $0,05$  климатической изменчивости. Минимальные значения отношения "сигнал/шум" характерны для океанических акваторий умеренных широт.

В §3.2 исследована структура дальних связей (ДС) поля облачности Северной Атлантики. Количественной мерой ДС служит величина

$$Q = \frac{1}{N^*} \sum H(|\hat{\tau}_{ij} - \tau_{ij}^0|) \hat{\tau}_{ij}$$

где  $N^*$  - число узлов сетки, для которых оценки взаимокорреляционных функций  $\hat{\tau}_{ij}$  превышают значимые на уровне  $0,05$  величины  $\tau_{ij}^0$ ,  $H$  - функция Хевисайда.

Согласно этому критерию, для процессов межгодовой измен-



воздействие на систему.

Известно, что к системе такого типа сводятся многие модели крупномасштабного ВАО.

Исследование эффектов сезонной изменчивости характера взаимодействия в САО проводится на простом варианте модели со знакопеременной периодической функцией ОС:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = \alpha_{21} x_2 - \alpha_1 x_1 + \varepsilon_1 Z_1 \\ \frac{dx_2}{dt} = \alpha_{12} x_1 - \alpha_2 x_2 + \varepsilon_2 Z_2 \end{cases}$$

где  $\alpha_{21} = f(t) = f(t+T)$ ,  $T = 1$  год;  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  - задают мощность внешнего воздействия на систему. Система уравнений решалась численно: на шаге инициализации методом Рунге-Кутты, на последующих - методом "предиктор-корректор". Оптимальный шаг интегрирования, при котором заданная точность (0.1%) достигается за 2-3 итерации, равен 1 сут., интегрирование проводилось на сроки 10-100 лет. Масштаб переменных выбран так, чтобы амплитуда  $\alpha_{21}$  равнялась  $\alpha_{12}$ , а значения  $\alpha_1, \alpha_2$  удовлетворяли условию сохранения энергии системы.

В §4.2 приведен анализ модельных решений. Исследованы случаи различных аппроксимаций функции ОС и внешних воздействий на систему.

1. Вариант модели без внешней накачки ( $Z_1, Z_2 = 0$ ) использован для изучения эффекта "в чистом виде" и его чувствительности к вариациям характера ОС:

а)  $\alpha_{21} = A \cos \frac{2\pi}{T} t + B, \quad \alpha_{12} = \text{const}$

б)  $\alpha_{21} = \begin{cases} c, & T \cdot n < t \leq (T/2 \pm m) + T \cdot n \\ -kc, & (T/2 \mp m) < t \leq T(n+1), \end{cases} \quad \alpha_{12} = \text{const}$

Значения  $\rho = \frac{A+B}{A}$ ,  $k$  и  $m$  моделируют асимметрию (различия в продолжительности и "интенсивности") противоположных фаз ОС в годовом цикле; вариант б) задает "триггерный" механизм взаимодействия, когда фаза ОС меняется скачком. По соображениям, приведенным в гл.У, "отрицательная" фаза ОС установлена в

летний, "положительная" - в зимний сезон.

Показано, что в случае отсутствия диссипации ( $\alpha_1, \alpha_2 = 0$ ) подстановка а) позволяет свести систему к уравнению Матье, имеющему при  $B \gg A$  периодические решения основной частоты  $\pi/T$  и набора кратных гармоник.

Численное интегрирование выявило существенную зависимость спектра решений от  $\rho, k, m$  и начальных условий.

Если функция ОС меняет знак в годовом цикле (при  $0.1 \leq \rho \leq 0.4$ ;  $0.6 \leq k \leq 1.9$ ;  $-\frac{\pi}{4} < m < \frac{\pi}{4}$ ) - реализуется колебательный режим "двухлетней цикличности" (ДЦ): согласованные колебания со сдвигом фазы (около 3 мес.) основной ( $T_1 = 2$  года) и третьей ( $T_3 = 8$  мес.) гармоник, соотношение амплитуд которых уменьшается с увеличением асимметрии ОС. Режим существенно более устойчив к усилению "отрицательной" фазы ОС. Энергия колебаний сильно зависит от исходных  $X_{10}, X_{20}$  и начальной фазы ОС - существуют комбинации  $X_{10}, X_{20} \neq 0$ , при которых колебательный режим не устанавливается, а наиболее благоприятным сезоном для "включения" механизма ОС является начало зимы.

2. Влияние на систему процессов синоптического масштаба параметризовано  $\delta$  - коррелированным шумом (модель с аддитивным шумом).

Вклад более низкочастотных процессов, способных кратковременно модифицировать характер ОС, представлен посредством "красного" шума, наложенного на функции возбуждения  $d_{21}, d_{12}$  (модель с мультипликативным шумом). Рассмотрена и комбинированная модель с аддитивно-мультипликативным шумом.

а) Модель с аддитивным шумом. Внешне поведение системы имеет вид квазислучайных флуктуаций разного масштаба, напоминающих природную изменчивость, однако анализ корреляционных и спектральных функций показывает сохранение всех свойств детерминистической модели (режим ДЦ, наличие субгармоник, сдвиг фаз и смену знака корреляций) при квадратической зависимости энергии колебаний от дисперсии шума. Анализ гистограмм решений показывает сезонные вариации устойчивости и частот повторяемости различных аномалий, что связано с различием динамической роли положительной и отрицательной фаз ОС.

Воздействие стохастической накачки приводит к сохранению стационарного режима при всех  $\alpha > \alpha_{кр}$  (где  $\alpha_{кр}$  - параметр релаксации, стабилизирующий режим ДЦ в детерминистическом варианте), при этом энергия системы и доля вклада ДЦ уменьшается с ростом  $\alpha$ , а корреляционные функции подобны оценкам, полученным по натурным данным. Зависимость от начальных условий уменьшается, система приходит в режим ДЦ даже при нулевых начальных аномалиях, роль спускового механизма выполняют случайные внешние флуктуации.

б) Модель с мультипликативным шумом. Решения в этом случае обладают сильной зависимостью от формы спектра шума и его мощности. Чем более низкочастотный шум, тем ниже предельная мощность, при которой решения содержат модулированную по амплитуде компоненту ДЦ. „Когерентный“ шум в виде одной и той же псевдослучайной последовательности, наложенной на  $\alpha_{21}$  и  $\alpha_{12}$ , снижает чувствительность системы к упомянутым факторам, при этом модельные реализации напоминают ситуацию, когда динамическая система имеет два устойчивых состояния и переходит из одного в другое спорадически под воздействием случайных возмущений.

в) Модель с аддитивно-мультипликативным шумом обуславливает критическую чувствительность решений к шуму и диссипации - в зависимости от конкретных псевдослучайных последовательностей на интервале интегрирования в 25-30 лет существуют решения, содержащие ДЦ, но статистически стационарных ансамблей получить не удается.

Сделан вывод, что механизм знакопеременной ОС приводит к колебательному режиму с удвоенным относительно функции ОС периодом, и может служить основой для интерпретации двухлетних вариаций и цикличностей другого масштаба в океане и атмосфере.

Этому вопросу посвящена глава У. В §5.1 рассмотрен один из аспектов климатообразующей роли облачности, связанный с ее влиянием на радиационный баланс Земли за счет отражения поступающей солнечной (альбедный эффект) и поглощения уходящей длинноволновой (эффект излучения) радиаций. От того, какой из этих противоположных эффектов преобладает, зависит реакция

термического режима климатической системы на аномалии облачности.

Анализ исследований облачно-радиационных взаимосвязей (Stephens, Webster, 1983) показывает, что:

1) Оптические свойства облаков в коротковолновом и длинноволновом диапазонах могут быть выражены как функции одного параметра - водности облаков;

2) при изменении водности облаков альbedo меняется существенно сильнее, чем излучательная способность;

3) альбедный эффект зависит, а излучательный - нет, от зенитного угла Солнца;

4) наличие облачности может изменить тенденцию выхолаживания с ростом альbedo подстилающей поверхности на противоположную.

Таким образом, в зависимости от географической широты, сезона и альbedo подстилающей поверхности, реакция термического режима на аномалии облачности может иметь противоположный характер: в умеренных и высоких широтах в зимний сезон положительные (отрицательные) аномалии облачности способствуют прогреву (охлаждению) подстилающей поверхности, в летний сезон - наоборот, а в годовом цикле имеет место смена знака ОС.

В рамках нуль-мерной модели взаимодействие полей облачности и температуры на масштабах короткопериодной климатической изменчивости может быть представлено системой уравнений для процессов со знакопеременной обратной связью.

Согласно этой модели в высоких и умеренных широтах, как дополнительный вклад в общую изменчивость, должен иметь место режим ДЦ, изученный в IV главе.

§5.2 посвящен изучению меридиональной структуры межгодовых изменений зонально-осредненных полей облачности  $N$ , приземной температуры воздуха  $T_a$ , относительного геопотенциала  $H$  и температуры поверхности океана  $T_w$ . Массивы  $T_a$  и  $N$  представляют собой ряды среднемесячных значений для 5-градусных широтных зон Северного полушария в пределах  $90^{\circ}-0^{\circ}$  и  $80^{\circ}-30^{\circ}$  за 1891-1989 и 1949-1989 гг. соответственно.

Массив  $N$  получен на основе массива, описанного в гл.Ш. Данные по изменчивости ТПО почерпнуты из литературных источников (Chiu, Newell, 1983).

Исследованы доминирующие масштабы временной изменчивости на основе анализа автокорреляционных и спектральных функций  $N$ ,  $T_a$ ,  $H$  в каждой широтной зоне, коэффициентов (главных компонент) разложений этих полей по базисам ЭОФ в пределах полушарий и на сфере (для  $N$ ). Сделан вывод, что двухлетняя цикличность является одной из наиболее заметных в спектрах климатической изменчивости:

1) В полярных регионах ( $\varphi > 65^\circ$ ) колебания с периодом 2 года и их третьи гармоники доминируют в изменчивости приземной температуры и облачности обоих полушарий.

2) В обширном поясе умеренных широт (от  $55^\circ$  до  $35^\circ$  широты) сигнал масштаба ДЦ проявляется не только в изменчивости облачности и приземной температуры, но также в вариациях относительного геопотенциала.

В то же время, изменчивость такого масштаба для поля облачности проявляется в экваториальной зоне, а в Южном полушарии охватывает и тропический пояс. Анализ разложений полей по базисам ЭОФ также показал отчетливые связи между характеристиками облачности и ТПО для мод с выраженным сигналом ДЦ, при этом более высокую корреляцию с глобальным распределением облачности имеет поле ТПО Атлантики.

Для выделения компонент ДЦ исходные ряды были сглажены скользящей 24-летней функцией Хендерсона. Анализ взаимнокорреляционных функций показал, что, как для рядов главных компонент, так и для широтных зон с выраженной ДЦ, колебания  $T$  имеют тенденцию опережать соответствующие изменения  $N$  приблизительно на 3-4 мес., а колебания  $N$  в разных полушариях сдвинуты друг относительно друга на полгода, в соответствии с сезонным ходом зенитного угла Солнца, устанавливающим фазу ДЦ.

По наиболее представительному набору данных о приземной температуре за 99 лет для каждого сезона рассчитаны гистограммы частот различных аномалий и коэффициенты корреляций

при сдвиге в I мес. для зон с выраженным и не выраженным сигналом ДЦ.

Получено, что для зон с преобладающей двухлетней изменчивостью ( $\varphi = 75^\circ, 45^\circ, 35^\circ$  с.ш.) гистограммы, особенно в летние и зимние месяцы, имеют бимодальный (или более сложный) характер, так что повторяемость нулевых аномалий ниже, чем соседних градаций. Коррелированность процессов при сдвиге в I мес., характеризующая устойчивости аномалий, в целом выше также в зимний и летний сезоны. Эти закономерности согласуются с модельными расчетами и результатами главы III. Кроме того, обнаружена достаточно тесная связь (коэффициенты корреляции  $+0.5$   $+0.6$ ) зимних и летних аномалий температуры, что также является следствием ДЦ, поскольку в течение каждого года в целом преобладают аномалии одного знака.

Сделан вывод, что двухлетняя цикличность зонально-осредненных характеристик облачности и температуры близка к модельному режиму в системе со знакопеременной ОС.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертации:

1). На основе анализа многолетних рядов наблюдений выявлена связь сезонной и межгодовой изменчивостей спектров тропических атмосферных возмущений с пространственной динамикой ВЗК и аномалиями экваториальной ТПО.

2). Исследована пространственно-временная структура потоков тепла в 7 энергоактивных зонах Северной Атлантики. Сделан вывод о преимущественно локальном характере процессов взаимодействия атмосферы и океана в диапазоне внутригодовой изменчивости, межгодовые флуктуации обнаруживают согласованную пространственную изменчивость, проявляющуюся на периодах около 8 и 2 лет.

3). Разработан метод оценки отношения "климатический сигнал/шум". Выделены регионы значимой климатической изменчивости глобального поля облачности. Проведен анализ дальних связей в поле облачности Северной Атлантики, который показал наличие сильных корреляций на межгодовых масштабах процессов в тропиках и "центрах действия" атмосферы Северной Атлантики.

Исследована временная изменчивость, приведена возможная интерпретация ДС.

4). На основе малопараметрической модели исследован механизм крупномасштабных колебаний в системе "океан-атмосфера", связанный с сезонной изменчивостью параметров взаимодействия (обратных связей), в случаях стохастического воздействия на систему и (или) на функцию обратной связи.

Показано, что при достаточно произвольном наборе внешних условий сезонная смена "знака" обратной связи приводит к колебаниям в режиме двухлетней цикличности. Исследованы свойства такого режима.

5). В рамках предложенного подхода сформулирована нульмерная модель взаимодействия характеристик облачности и термического режима, в которой параметризация облачно-радиационных связей основана на их зависимости от зенитного угла Солнца и альбедо подстилающей поверхности. На основе анализа натуральных данных в Северном и Южном полушариях выявлена двухлетняя цикличность зонально-осредненных характеристик облачности и температуры, черты которой, в зависимости от широты, достаточно точно соответствуют модельным решениям. Помимо объяснения природы выявленной изменчивости и возможности интерпретации ДС в реальной климатической системе, это может служить объяснением имеющих расхождений в оценках чувствительности радиационного баланса Земли к вариациям облачности.

Основные результаты диссертации изложены в следующих публикациях:

1. Голобородько С.В., Дворянинов Г.С., Прусов А.В. Оценка параметров волн в области ВЗК. - Метеорология и гидрология, 1985, № 10, с.3-10.

2. Голобородько С.В. Пространственно-временная изменчивость поля облачности Тропической Атлантики по данным ИСЗ. - Деп. в ВИНТИ, 1986, № 1604 - В86, 15 с.

3. Голобородько С.В., Журавлев В.М., Прусов А.В. Волновая структура метеорологических процессов на тропическом энергоактивном полигоне. - Деп. в ВИНТИ, 1986, № 1603 - В86, II с.

4. Голобородько С.В. Спектральный анализ процессов макро-

взаимодействия атмосферы и океана в энергоактивных зонах Северной Атлантики. - В кн.: "Актуальные проблемы океанологии". Тезисы докладов на I Всесоюзной школе-семинаре, Ленинград, 2-II апреля 1987, Л.: Гидрометеоздат, 1987, с.85-86.

5. Голобородько С.В., Лемешко Е.М. Бюджет тепла Северной Атлантики: масштабы изменчивости и связь с тепловыми потоками. - Деп. в ВИНТИ, 1987, № 872 - В87, 18 с.

6. Голобородько С.В., Дворянинов Г.С. Анализ предсказуемости и дальних связей по спутниковой информации о поле облачности. - Севастополь, 1989, 43 с. (Препринт / АН УССР, мор. гидрофиз. ин-т.)

7. Дворянинов Г.С., Голобородько С.В. Дальние связи в изменчивости поля облачности над Северной Атлантикой. - Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана, 1989, 25, № 10, с. 1040-1050.

Сергей Владимирович Голобородько

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА И ОБРАТНЫЕ  
СВЯЗИ ПРОЦЕССОВ КРУПНОМАСШТАБНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА В РЕГИОНЕ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ

А в т о р е ф е р а т

---

Подписано в печать 08.07. 92 г.  
Формат бумаги 60x90 1/16 Объем 1 уч.изд.л.  
Заказ 206 Тираж 100 экз.

---

Отпечатано на ротاپринте Морского гидрофизического  
института АН Украины  
335005, Севастополь-5, улица Ленина, 28.



468474

AB 25.912

