

одесский гидрометеорологический институт

на права : рукописи

ИВАНОВ Сергей Васильевич

УДК 551.510.53

**пространственно-временная структура
низкочастотных колебаний параметров
атмосферы в восточном секторе арктики**

11.00.09-метеорология, климатология, агрометеорология

Иванов

автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Одесса-1993

Работа выполнена в Одесском гидрометеорологическом институте
Научный руковод. гель: кандидат географических наук,
доцент Емшанова Н.В

Официальные спонсоры: доктор физико-математических наук,
профессор Шнайдман В.А.
ст. научный сотрудник УкрНИГМИ,
кандидат географических наук
Волконская Н.К.

Ведущая организация: Украинский Научный Центр Экологии моря

Защита диссертации состоится 07 октября 1993 г. в 13⁰⁰ часов
на заседании Специализированного совета Д 05.02.01.
в Одесском гидрометеорологическом институте в зале заседаний
по адресу: 270016, Одесса-16, ул. Львовская, 15.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского
гидрометеорологического института.

Автореферат разослан "20" августа 1993 г.

Ученый секретарь

Специализированного совета



Н.С. Лобода



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ДИССЕРТАЦИИ. В последние годы теоретическими и экспериментальными исследованиями установлено, что низкочастотная изменчивость (с периодом больше десяти суток) составляет значительную часть суммарной изменчивости атмосферной циркуляции. Атмосферные процессы такого временного масштаба обнаруживаются во всех широтных зонах как локальными сетями наблюдений, так и при глобальном анализе данных. Определению характеристик такой изменчивости атмосферы посвящено большое количество работ, где предлагается несколько механизмов, объясняющих ее происхождение. Однако до конца не выяснены вопросы регулярности проявления и характера взаимосвязей процессов этого временного масштаба в различных регионах.

Использование имеющихся результатов для сверхдолгосрочных прогнозов существенно ограничено тем фактом, что спектральные пики низкочастотных колебаний на большинстве спектров статистически значимы, но занимают широкий частотный диапазон. Поэтому необходимо исследовать имеющиеся диагностические связи между различными характеристиками крупномасштабных процессов с целью выделения детерминированной и случайной составляющих в этих процессах.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ. Целью работы является изучение пространственно-временных характеристик низкочастотных внутригодовых колебаний температуры воздуха и скорости ветра в нижнем слое атмосферы в восточном секторе Арктики и воспроизведение их в модели циркуляции атмосферы.

В процессе проведения работы решались следующие основные задачи:

- разработка и применение метода оценивания нормированного текущего спектра для выделения частотной модуляции амплитудно-модулированных процессов;
- получение пространственных и временных характеристик низкочастотных внутритропических колебаний температуры воздуха и скорости ветра для определения преобладающих спектральных составляющих и характера перераспределения спектральной плотности между ними;
- проведение численных экспериментов с полусферной моделью циркуляции атмосферы при наличии планетарной орOGRAPHии и высокочастотного возбуждения с целью установления влияния широты прохождения циклонов на характеристики низкочастотных колебаний.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ состоят в применении временного и пространственно - временного спектрального анализа к рядам аэрологических наблюдений в нижнем слое атмосферы в восточном секторе Арктики и численном моделировании циркуляции атмосферы и временного спектрального анализа модельных характеристик в диапазоне низкочастотных колебаний.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА работы заключается в следующем:

- разработан и применен алгоритм получения оценки нормированного текущего спектра, который позволяет установить характер перераспределения спектральной плотности в различных диапазонах периодичностей при наличии существенной амплитудной модуляции процессов;
- обнаружена модуляция периодов низкочастотной изменчивости атмосферы;
- для выделенных временных масштабов с использованием интер-

ного метода определены пространственные моды низкочастотных волн в восточном секторе Арктики;

- предложена концептуальная основа моделирования диагностической связи между периодом низкочастотных колебаний и широтой распространения циклонических образований и осуществлена численная реализация баротропной модели циркуляции атмосферы над топографическими неоднородностями при наличии внешнего высокочастотного возбуждения. Последнее воспроизводится в виде циклонов, распространяющихся вдоль шторм-треков в северных частях океанов;

- по результатам численного моделирования установлена зависимость периода низкочастотных колебаний атмосферы от широты прохождения циклонических образований.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ. Диссертационная работа выполнялась в Одесском гидрометеорологическом институте в рамках темы "Исследование ветровой компоненты западного сектора Советской Арктики для целей мониторинга климата". № государственной регистрации ОI8800I5II89. Предлагаемый алгоритм получения оценки текущего спектра может быть использован при решении задач мониторинга климата для определения роли периодичностей различных временных масштабов, а также при изучении процессов с нестационарностью спектральных составляющих.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Отдельные части работы по мере их завершения представлялись на 6-ом Всесоюзном совещании по проблемам изменения климата и мониторингу климата и атмосферы (Ленинград, 1990), на Симпозиуме и совещании экспертов стран Восточной, Центральной Европы и Азии по проблеме "Изменения климата" (Ленинград, 1990), на 4-ом Всесоюзном симпозиуме "Ме-

теоретические исследования в Антарктиде" (Санкт-Петербург, 1991), на отчетных конференциях ОГМИ в 1990 и 1991 г.г.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Общий объем работы страниц, из них 4 - таблицы и 25 рисунков. Библиография включает 333 наименования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ВО ВВЕДЕНИИ дано обоснование актуальности диссертационной работы, формулируются цель и задачи исследования, определяется научная новизна и излагается содержание работы.

В ПЕРВОЙ ГЛАВЕ дается обзор литературы, посвященной низкочастотной изменчивости атмосферы. Отмечается, что данные наблюдений и результаты численного интегрирования моделей общей циркуляции атмосферы указывают на многопричинность низкочастотной атмосферной изменчивости. В средних и высоких широтах предполагаемыми механизмами могут быть баротропная неустойчивость зонально-несимметричного атмосферного потока, возможность существования двух и более климатических состояний при одном и том же внешнем возбуждении, развитие долгоживущих элементов циркуляции, таких, как замкнутые вихри, модоны и солитоны, внешнее возбуждение на нижней границе за счет аномалий температуры поверхности океана или влагозапасов в почве, крупномасштабная топография, явление вассилляции, межволновые взаимодействия, воздействие высокочастотных нестационарных возмущений, а также статистические эффекты синоптических процессов.

ВО ВТОРОЙ ГЛАВЕ дана характеристика материалов аэрологических наблюдений в восточном секторе Арктики, представ-

лель методы пространственного и временного спектрального оценивания рядов, используемые при обработке данных наблюдений, предлагается метод получения нормированной оценки текущего спектра, который позволяет уточнить характер перераспределения спектральной плотности между различными составляющими при наличии значительной амплитудной модуляции процессов.

Спектральное оценивание временных характеристик рядов наблюдений основано на алгоритмах и программах, широко представленных в литературе.

Пространственные спектральные оценки низкочастотной изменчивости получены с помощью вейвлетного метода, основанного на амплитудно-фазовых соотношениях между гармоническими сигналами в различных точках.

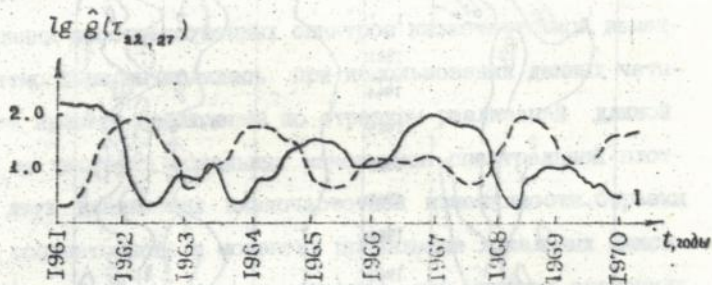
Поскольку ряды наблюдений метеорологических величин характеризуются значительной внутрирядной связностью, образующей "красный шум", был разработан метод нормирования текущего спектра с целью исключения влияния различного наклона спектра на отдельных временных сегментах и нестационарности интегральной дисперсии спектральных компонент. Суть предлагаемого метода заключается в преобразовании горизонтальной координатной оси частот на оценках спектров к оси частот, совпадающей с верхним доверительным пределом континуума "красного шума". После такого преобразования статистически значимые величины нормированного текущего спектра больше единиц, и по ним можно проводить эквивалентное сравнение спектральных компонент из различных диапазонов.

В ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ анализируются результаты временного и пространственного спектрального оценивания. Выделяются два

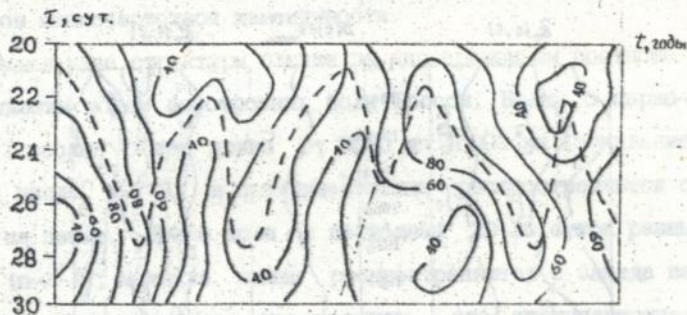
временных диапазонов низкочастотной изменчивости - 20-30 суток и 1-2 месяца. В каждом из диапазонов спектральные пики являются широкополосными, с несколькими вершинами, что может свидетельствовать о перераспределении во времени спектральной плотности между несколькими доминирующими значениями периодов колебаний внутри низкочастотного диапазона.

Расчеты изменчивости метеорологических величин по вертикальной координате показали, что колебания параметров атмосферы на внутригодовом низкочастотном масштабе происходят синфазно с некоторым увеличением амплитуды с высотой. Поэтому движению рассматриваемого масштаба в нижнем слое атмосферы предполагались баротропными.

На рис.1 приведен пример изменения во времени спектральной плотности скорости ветра над Мурманском в слое 0-900м в диапазоне периодов 20-30 суток. Отмечается проявление в противофазе локальных максимумов у периодичностей в 22 и 27 суток. Однако, из-за неправильной формы отгибающей амплитудной модуляции у этих составляющих установить характер перераспределения спектральной плотности между ними сложно. Введение нормировки текущего спектра облегчает эту задачу. На рис.2 показаны средние по четырем пунктам наблюдений текущие спектры температуры воздуха и модуля скорости ветра в слое 0-900м до и после нормировки. В последнем случае хорошо заметны изменения преобладающих периодов колебаний между поддиапазонами 20-22 и 25-29 суток в диапазоне периодичностей 20-30 суток, и между поддиапазонами 36-45 и 50-55 суток в диапазоне 1-2 месяца. Модуляция периодов низкочастотных колебаний близка к двухлетней; увеличение или уменьшение периодов в



а)



б)

Рис. I. Временная изменчивость спектральной плотности колебаний модуля скорости ветра в Мурманске (а) с периодом 22 (1) и 27 (2) суток и текущий спектр в диапазоне периодов 20-30 суток (б). Пунктиром на рис. б выделено положение локальных максимумов на каждом временном сегменте.

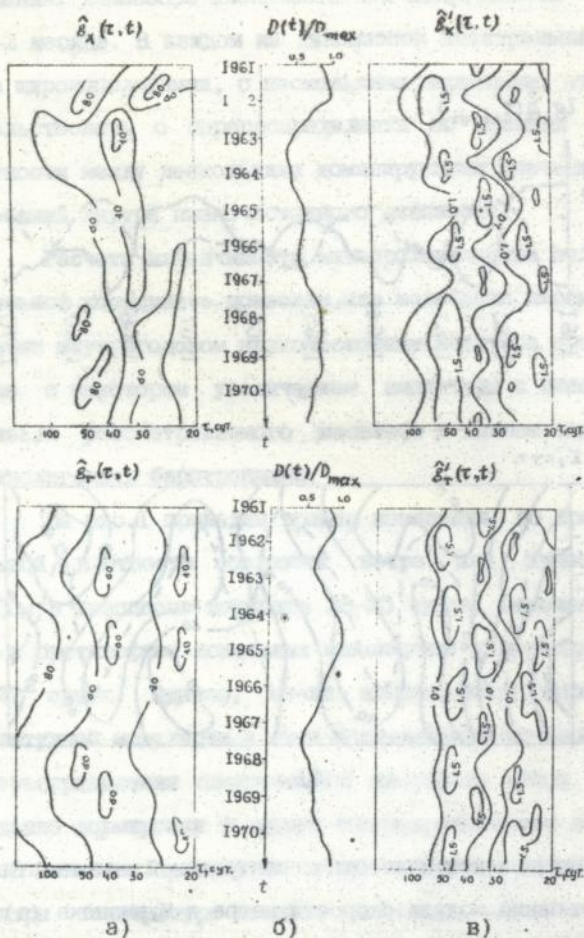


Рис.2. Средний текущий спектр (а), временная развертка интегральной дисперсии колебаний (б) и нормированный текущий спектр (в) модуля скорости ветра (вверху) и температуры воздуха (внизу) в восточном секторе Арктики

каждом из диапазонов происходит в одном направлении, что может быть вызвано внешним воздействием на периоды низкочастотных колебаний.

Оценки пространственных спектров низкочастотной изменчивости атмосферы вычислялись при использовании данных четырех и пяти пунктов наблюдений по отрезкам реализаций длиной один год на частотах локальных максимумов спектральной плотности в двух диапазонах низкочастотной изменчивости. Отрезки времени соответствовали моментам проявления локальных максимумов нормированного текущего спектра при крайних значениях модуляции периодов низкочастотных колебаний в каждом из двух диапазонов низкочастотной изменчивости.

Выделенные структуры близки по дисперсионным соотношениям к низшим модам баротропных волн России. Волны с периодами 1-2 месяца имеют длины от 3000 до 10000 км (зональные волновые числа $n=1-3$) и преимущественно распространяются с востока на запад. Длины волн с периодами 20-30 суток равны 5000 км ($n=2-4$), и такие волны распространяются с запада на восток. Это позволяет предположить, что низкочастотная изменчивость атмосферы связана с нестационарным режимом баротропных волн России.

В ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ сформулирована концептуальная основа модели крупномасштабной циркуляции атмосферы при наличии орографических неоднородностей и внешнего возбуждения, представленного в виде циклонических образований, распространяющихся вдоль шторм-треков в северных частях океанов, приводится численная реализация уравнений на сфере, представляются используемые способы параметризации орографических неоднородностей,

горизонтальной турбулентной диффузии, трения в пограничном слое. Выдвигается предположение, что модуляция периодов низкочастотных колебаний может быть обусловлена взаимодействием их с высокочастотными процессами, такими как синоптические образования, и, в частности, квазидвухлетним изменением положения шторм-треков (Tinsley). С целью установления зависимости периода низкочастотных колебаний от широтного положения высокочастотных вихрей вводятся два варианта возможных траекторий циклонов. В представленной модели рассматривается только однопольная связь: влияние высокочастотных колебаний на низкочастотную изменчивость. Область моделирования ограничена полусферой. Используются условия симметрии климатического потока относительно экватора, отсутствия завихренности на экваторе и непротекания через экватор. Начальные поля для функции тока и относительного вихря рассчитывались по распределению зонального ветра для зонально симметричного климата (Хелд, Хоскинс). Учет орографических неоднородностей осуществлялся по Фридриксону и Беллу. Варьированием одного из коэффициентов при параметризации влияния орографии устанавливались различные соотношения между высотой орографических неоднородностей и вертикальным размером слоя атмосферы, в котором моделируются крупномасштабные процессы. Величина последнего зависит от ряда характеристик атмосферы и, в общем случае, может быть различной. Параметризация горизонтальной турбулентной диффузии осуществлена по Смагоринскому, а процессы в пограничном слое атмосферы параметризованы по Фридриксону.

Географические районы проявления высокочастотных вихрей в модели соответствовали траекториям движения циклонов в

северных частях Атлантического и Тихого океанов и были определены в долготном направлении границами 80° з.д. - 40° в.д. и 120° з.д. - 120° в.д. соответственно, в широтном - $40-70^{\circ}$ с.ш. или $50-80^{\circ}$ с.ш. Смещением широтных границ преследовалась цель установить влияние изменения положения шторм-треков на характеристики низкочастотных колебаний модельной атмосферы. Характеристики циклонов задавались по данным литературных источников. В модели рассматривалась только однонаправленное влияние высокочастотных процессов на низкочастотные в предположении, что изменяющийся на медленном временном масштабе низкочастотный процесс испытывает только "осредненное по времени" влияние высокочастотных вихрей.

В ПЯТОЙ ГЛАВЕ представлены результаты численного моделирования низкочастотной изменчивости атмосферы. Выполнено три основных эксперимента. В первом для проверки устойчивости численной схемы и установления параметров модели осуществлялось интегрирование процессов в атмосфере над гладкой планетой при отсутствии внешнего возбуждения. Во втором эксперименте изучалось поведение модельной атмосферы при наличии планетарной орोगрафии и выбор оптимальных значений параметров. В этом эксперименте формировалась структура с зональным волновым числом $n=2$, по дисперсионным соотношениям близкая к соответствующей баротропной моде Россби, которая распространялась в западном направлении с периодом 8,4 суток. После выхода на статистически стационарный режим удельная кинетическая энергия атмосферы испытывала осцилляции с периодом 19,7 суток. Третий эксперимент проводился при тех же начальных и граничных условиях с учетом орोगрафии и высокочастотного воз-

буждения. Основное отличие от результатов второго эксперимента заключалось в расположении максимумов спектральной плотности зональной компоненты скорости ветра на значениях периодов 17.6 и 4.0, 18.9 и 4.1 суток при положении источника высокочастотного возбуждения в полосе $50-80^{\circ}$ с.ш. и $40-70^{\circ}$ с.ш. соответственно. Анализ распределения спектров по широте показал, что максимальные значения спектральной плотности зональной компоненты наблюдаются на 60° с.ш. В направлениях к экватору и полюсу интенсивность низкочастотной изменчивости ослабевает.

В ЗАКЛЮЧЕНИИ сформулированы основные результаты работы:

1. Разработан алгоритм нормировки текущего спектра, который позволяет установить перераспределение спектральной плотности между спектральными составляющими при наличии амплитудной модуляции процесса.

2. Выделены два временных диапазона низкочастотной изменчивости атмосферных характеристик в восточном секторе Арктики. Один диапазон охватывает периоды 20-30 суток, второй - 1-2 месяца. В каждом из диапазонов обнаружена модуляция периодов колебаний. В первом диапазоне значение преобладающего периода колебаний перераспределяется между поддиапазонами периодичностей в 20-22 и 25-29 суток, во втором - между 36-45 и 50-55 сутками. Модуляция периодов в обоих диапазонах низкочастотной изменчивости происходит синфазно и имеет регулярный характер, что может быть обусловлено общим внешним влиянием. На протяжении исследуемого отрезка времени период модуляции приблизительно равнялся двум годам. Рассчитаны пространствен-

ные волновые числа выделенных низкочастотных колебаний. Структуры с временной периодичностью 1-2 месяца имеют меридиональные волновые числа $n = 1-3$ и распространяются с востока на запад. 20-30-суточные волны имеют противоположное направление распространения и меньшие пространственные размеры: $n = 2-4$.

3. Численными экспериментами установлено, что период низкочастотных колебаний удельной кинетической энергии изменяется в пределах 10-12% при изменении положения источника высокочастотного возбуждения на 10° широты. В частности, при смещении области распространения циклонических образований к полюсу наблюдается уменьшение периода низкочастотных колебаний и увеличение скорости распространения баротропных волн Россби в атмосфере. Максимальное проявление низкочастотной изменчивости приходится на 60° с.ш. В направлениях к полюсу и экватору она ослабевает.

По результатам обработки наблюдений и численного моделирования делается вывод, что низкочастотная внутригодовая изменчивость атмосферы может проявляться вследствие нестационарности режима баротропных волн Россби, и характеристики этого режима в определенной степени зависят от взаимодействия глобального потока с локальными вихревыми образованиями.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Иванов С.В. Временная перемежаемость низкочастотных колебаний метеорологических величин в пограничном

- слов. //Метеорология, климатология и гидрология, 1992.
№ 28. с.126-130.
2. Иванов С.В. О волновых векторах низкочастотных (внутрисезонных) колебаний в поле скорости ветра над Арктикой. //Метеорология, климатология и гидрология, 1993.
№ 29. с.140-146.
3. Иванов С.В. Оценка роли нестационарных атмосферных процессов различных временных масштабов. Деп. в Укр. ИНТЭИ: № 362. Ук.92. 19.03.92.
4. Иванов С.В. Пространственные временные масштабы внутрисезонной изменчивости в западном секторе Арктики. Деп. в Укр. ИНТЭИ № 36 Ук.92. 19.03.92.
5. Иванов С.В. Оценка низкочастотных колебаний в атмосфере западного сектора Арктики. Тр. ААНИИ (в печати).
6. Научный отчет по теме "Исследование ветровой компоненты западного сектора Советской Арктики для целей мониторинга климата". № госрегистрации 01880015189. Одесса, 1990.

Подп. к печати 17.12.93г. Формат 60x84 I/16.
Объем I, Оп. л. 0,7уч. изд. л. Заказ № 1926. Тираж 100 экз.
Гортипография Одесского управления по печати
Ленина 49.

462656

AB 28.026

AB 28.026