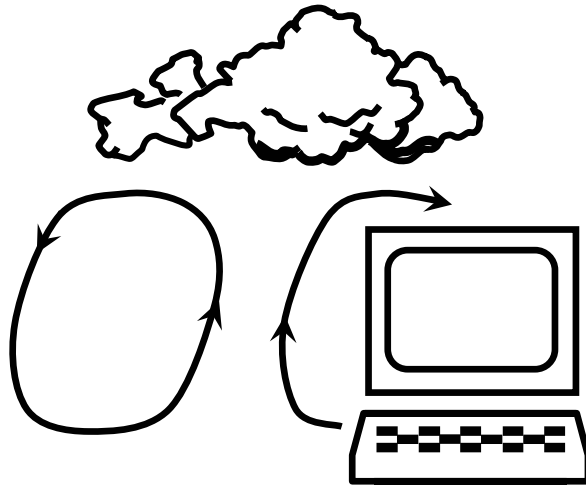


**Моделирование  
атмосферных динамических процессов**





**Методы оценки статистической значимости  
модельных откликов на внешние возмущения  
в климатических исследованиях**

*И.Л. Кароль, А.А. Киселев*

Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова, Санкт-Петербург

Широкое развитие модельных исследований в науке и использование их результатов для важных практических выводов делает актуальными оценки степени неопределенности и достоверности получаемых модельных результатов. При этом необходимо учитывать как погрешность в исходных данных, так и неточности в параметрах модели и в приближенных методах решения модельных уравнений. Предлагается краткий обзор современных методов оценки статистической значимости модельных откликов на различные внешние возмущения и степени обоснования этих методов.

## **Перенос примесей в тропосфере и нижней стратосфере средних широт**

*Н.П. Шакина*

Гидрометцентр России, Москва

Малые составляющие атмосферного воздуха в тропосфере и нижней стратосфере средних широт переносятся воздушными течениями в циркуляционных системах, по спектру размеров которых — от планетарных до микромасштабов — изменяется соотношение сил, действующих на воздушную частицу. Более крупномасштабные системы генерируют характерные структуры движений меньшего масштаба. Так, циклонические вихри (объекты  $\beta$ -макромасштаба) имеют мезомасштабную структуру, включающую воздушные потоки различного происхождения (теплую и холодную воздушные массы; теплую и холодную несущие полосы; сухой поток) и разделяющие их зоны атмосферных фронтов. Каждая из этих составляющих мезомасштабной структуры циклона имеет, в свою очередь, характерную мезо- или микромасштабную структуру (облачные полосы, гипербароклинные зоны, струйные течения нижних уровней, зоны осадков, конвективные образования). Характерные структуры циркуляционных систем описываются концептуальными моделями, удобными как для анализа реальных данных, так и для прогноза погоды (в особенности для прогноза «подсеточных» процессов). Объекты «сеточного» масштаба непосредственно описываются гидродинамическими моделями атмосферы. Для моделей атмосферы, используемых для прогноза, начальные данные получают на основе прямых измерений (у земли и в толще атмосферы) и разного рода дистанционных измерений (включая спутниковые) с помощью оперативно выполняемого объективного анализа. Данные объективного анализа и его неоперативного варианта — реанализа (использующего более полные наборы данных) используются и для исследования динамики реальных процессов (диагностические расчеты). Циркуляционные системы всех масштабов существенно трехмерны и имеют достаточно большой вертикальный масштаб, поэтому для описания переноса малых составляющих необходимо использовать модели не только с высоким пространственным разрешением, но и с достаточно высоко расположенной верхней границей.

## **Механизмы превращения энергии, импульса и малых газовых составляющих в моделях экваториальной атмосферы**

*С.П. Перов<sup>1</sup>, Ю.А. Борисов<sup>1</sup>, К.В. Показеев<sup>2</sup>, И.Л. Галкина<sup>1</sup>, А.А. Гальченко<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Центральная аэрологическая обсерватория, Долгопрудный

<sup>2</sup> Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва

Представлены и обсуждаются физико-химические механизмы взаимодействия радиационных, фотохимических и динамических (в первую очередь волновых) процессов в экваториальной озоносфере. Представленный здесь материал является в определенной степени дополнением и/или иллюстрацией к лекциям, прочитанным на конференции 2004 г. в Подлипках И.Л.Каролем, И.К.Лариным, М.А.Каллистратовой, А.М.Стариком и другими, особенно в части, касающейся тропической области атмосферы.

Важную роль в пространственно-временной структуре озонового слоя играют изменения в облачных полях и аэрозольных неоднородностях: во-первых, вследствие увеличения за счет альбедо уходящей фотохимически активной видимой (в основном) и УФ-радиации Солнца и, во-вторых, формирование и эволюция облаков связаны с выделением скрытой теплоты конденсации, воздействующей на формирование и распространение целого спектра внутренних гравитационных волн (ВГВ), воздействующих на озоносферу. Что касается первого фактора, то оценки показывают, что на высоте 35–40 км концентрация озона может уменьшиться на 10%, а температура — на 2–3 градуса. Таким образом, этот слой атмосферы является дополнительным к тропосферному источником возникновения внутренних волн, причем всех типов — экваториальных, приливных, гравитационных (если их период одного порядка с временем существования облачных масс). Формирование облаков и облачных масс (кластеров) во многом определяется процессами конвекции (особенно в тропиках), в т. ч. связанными с температурой поверхности океана, а также особенностями систем циркуляции в тропосфере (внутритропическая зона конвергенции, тропические циклоны, Эль-Ниньо и т. д.).

Рассмотрены некоторые микрофизические механизмы в ионно-аэрозольной атмосферной плазме, в т. ч. при образовании аэрозолей различной природы с необычными свойствами (серебристые, перламутровые, полярные стратосферные, высокие перистые и др. облака, сотни различных форм гало и т. д.). Эта проблема выходит на первый план в исследованиях климата (П.Крутцен), поскольку в моделях очень трудно учесть многочисленные обратные связи, в которых важным звеном выступает радиационно и химически активный аэрозоль в различных видах на различных высотах при различных термодинамических условиях и различных внешних воз-

действиях. Исключительную роль играет аэрозоль в работе глобальной электрической цепи. Гигантские электрические разряды в ионосфере от грозовых облаков, т.н. красные спрайты, голубые джеты и стартеры, возможны только при максимальных электрических полях над грозовыми облаками, создающихся при максимальных эффективных стоках на поверхность аэрозольных частиц (их количество может достигать до  $10^8$  куб.см легких атмосферных ионов, тем самым уменьшая эффективную подвижность вновь образующихся ионов и электропроводность атмосферы. В литературе дискутируется вопрос о существовании в атмосфере особенно при низких температурах непрорекомбинировавших ионов, мультиионов, «замороженной неравновесной ионной плазмы» Такие метастабильные энергетически активные аэрозоли (название условно, их можно определить как «энергонасыщенные») были зарегистрированы в ракетных экспериментах. Их существование в холодной нижней стратосфере и верхней тропосфере следует из анализа экспериментальных данных полученных в пусках метеоракет М-100Б на Тумбе (Индия), с. Молодежная (Антарктида), с. Волгоград и с научно-исследовательских кораблей в Индийском океане с помощью специально разработанной высокочувствительной аппаратуры для измерения концентрации озона и атомарного кислорода в стратосфере и мезосфере Земли

В одном из самолетных экспериментов над Арктикой зарегистрирован (лидаром) феномен образования стратосферных аэрозольных слоев во время полярного сияния, что может свидетельствовать о влиянии электродинамических процессов во всей толще атмосферы на процесс формирования облаков.

С использованием ракетных данных из наблюдений на с. Тумба и НИС в Индийском океане в 1970–90 гг. получены основные характеристики коротко- и долгопериодной волновой активности в индийском регионе тропической атмосферы и оценен энергетический вклад различных типов волн. Анализ глобальных процессов в 1997 г. в средней атмосфере показал мощное воздействие Эль-Ниньо 1997 г. на озоновый слой начиная с начальной фазы (апрель) вплоть до окончания процесса. Впервые обнаружено (в августе 1998 г.) нарушение фотохимического равновесия в фотохимически активном и обычно равновесном слое тропической озоносферы (35–50 км), что свидетельствует о необычайно сильной волновой активности в тропической средней атмосфере в этот период.

Анализируются данные прибора CRISTA, работавшего на орбите с 7 по 17 августа 1997 г. в период развития самого мощного в XX веке Эль-Ниньо и в период индийского муссона. Сравнение с данными первого эксперимента CRISTA в начале ноября 1994 г. показало необычайно сильные возмущения динамического характера во всей толще озоносферы и позволило определить некоторые важные характеристики «быстрых» (с периодом ме-

нее 5 дней) экваториальных планетарных волн Кельвина, проникающих до 100 км. в термосферу и, возможно, выше. Эти характеристики хорошо согласуются с нашими данными ракетных экспериментов на с. Тумба (Индия, 8,6 N). Волны Кельвина, возбуждаемые при сильной конвекции (незональной) над экватором, являются одним из основных факторов, влияющих на амплитуды и фазы полугодовых, годовых и квазидвухлетних колебаний температуры, ветра и химического состава озоносферы и средней атмосферы.

Предложен и опробован новый метод определения и анализа среднезонального вертикального ветра в этих колебаниях при решении системы фотохимических уравнений в фотохимической области озоносферы (35–80 км) с целью вычисления высотного распределения долгоживущей примеси (например, водяного пара —  $H_2O$ ) и ее временной изменчивости. Для этого были использованы среднезональная модель озоносферы, построенная по спутниковым наблюдениям США, и незональная модель температуры и плотности стратомезосферы, построенная по ракетным данным ЦАО. Полученные концентрации  $H_2O$  на высотах 50–80 км, их амплитуды и фазы хорошо согласуются с амплитудами и фазами зонального ветра в экваториальной области на этих же высотах. Аналогичная ситуация наблюдается и в нижних слоях экваториальной атмосферы (equatorial taperecorder).

## **Методика и результаты наблюдений мезосферного озона на миллиметровых волнах**

*А.Н. Игнатьев, Е.П. Кропоткина, С.Б. Розанов, С.В. Соломонов*

Физический институт имени П.Н.Лебедева РАН, Москва

Представлены результаты наблюдений мезосферного озона на миллиметровых волнах, выполненных с помощью размещенного в Москве высокочувствительного спектрорадиометра ФИАН в зимние периоды 1999–2005 гг. Зарегистрированы спектры собственного теплового излучения молекул озона на частотах вращательной линии с центром на 142,175 ГГц. Оптимизированные характеристики спектрорадиометра соответствуют мировому уровню. Изложена методика восстановления вертикального распределения озона (ВРО), основанная на методе регуляризации Тихонова с использованием априорной информации о форме ВРО выше 75 км. Эта методика позволяет восстанавливать ВРО в ночное время на высотах от 15 до 95 км [1,2], труднодоступных для других методов. Обнаружены значительные вариации содержания мезосферного озона. Получено, что величина колебаний озона в течение зимних периодов достигает 2–3 раз на высотах 60–70 км. Содержание ночного озона в максимуме на 90 км в течение тех же периодов изменяется от 2 до 10 ppт. Обнаружена связь этих изменений озона на 90 км с крупномасштабными процессами атмосферной динамики.

Работа поддержана грантами РФФИ №03-02-17436, НШ-1254.2003.2, Программой ОФН РАН «Проблемы радиофизики» и ФЦП «Интеграция» (проект № 316).

1. *Соломонов С.В., Кропоткина Е.П., Семенов А.И.* Наблюдение мезосферного озона на миллиметровых волнах // Краткие сообщ. по физ. 2001. № 10. С.30–38.
2. *Соломонов С.В., Кропоткина Е.П., Розанов С.Б.* Исследование вертикального распределения озона в стратосфере и мезосфере на миллиметровых волнах // Изв. вузов. Радиофизика. 2003. Т. 46. № 8–9. С.764–770.



## Анализ вариаций концентрации приземного озона в Звенигороде

*М.Ю. Стницей, Г.И. Кузнецов, О.А. Тарасова*

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва

К настоящему моменту времени сформировался определенный состав атмосферного воздуха в результате исторических процессов формирования земной атмосферы. Фотохимическое состояние атмосферы определяется взаимными превращениями большого числа малых газов, особое место среди которых занимает приземный озон. Источниками озона в приземном слое служат приток из свободной тропосферы и химические превращения. Стоком является химическое разрушение в воздухе и на поверхностях.

В данной работе проводится анализ вариаций приземного озона различного временного масштаба путем построения функций распределения за различные промежутки времени и с различным временным разрешением. Для этой цели используются данные измерений концентрации озона, полученные на Звенигородской научной станции. Измерения проводились с октября 1998 г. по май 1999 г.

Для оценки вариаций концентрации озона использовалось разное временное разрешение исходных данных — среднeminутные, среднечасовые и среднесуточные значения. Анализ функции распределения за различные периоды времени показал, что одномодальная структура наблюдалась в основном в холодный период времени — в ноябре, январе и феврале, а бимодальная структура — в марте, апреле и мае. Эти структуры сохранялись независимо от временного разрешения исходных данных, что говорит о крупномасштабности процессов, определяющих среднемесячные концентрации приземного озона.

Исследование сезонных изменений функции распределения концентрации озона показало, что одномодальная структура наблюдается осенью, а бимодальная структура — зимой, весной и за весь период наблюдений. При анализе бимодальных структур было установлено, что зимой повторяемость низких значений ( $O_3 = 17,5$  ppb) больше, чем повторяемость высоких ( $O_3 = 22,5$  ppb). Весной и за весь период наблюдений видна обратная картина — повторяемость высоких значений ( $\bar{O}_3(\text{весна}) = 31,5$  ppb,  $\bar{O}_3(\text{за весь период}) = 22,5$  ppb), больше чем низких ( $\bar{O}_3(\text{весна}) = 21,5$  ppb,  $\bar{O}_3(\text{за весь период}) = 17,5$  ppb). Большая повторяемость высоких значений весной связана с формированием сезонного максимума в этот период. При анализе одномодальной структуры осенью был обнаружен дополнительный максимум в функции распределения озона связанный с разрушением озона под температурной инверсией в утренние часы.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 03-05-64712.

## **Влияние макрометеорологических параметров на концентрацию озона в тропосфере**

*А.С. Евлампиев, О.А. Тарасова*

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва

Состояние атмосферы как термодинамической системы может быть полностью описано набором макрометеорологических параметров, изменчивость которых в большей или меньшей степени имеет отклик в изменениях газового состава атмосферы в целом и концентрации приземного озона (КПО) в частности.

В настоящей работе делается попытка оценить влияние макрометеорологических параметров на изменчивость КПО на Кисловодской высокогорной научной станции (КВНС). Расположение КВНС выше пограничного слоя атмосферы в большую часть времени измерений делает ее репрезентативной для описания состава свободной тропосферы в отсутствии мощных региональных источников эмиссий.

По данным наблюдений с 1989 по 2000 год включительно была построена многопараметрическая регрессионная модель КПО по макрометеорологическим параметрам, которые рассматривались как независимые переменные. Всего в работе исследовалось 28 параметров, полученных из результатов объективного анализа, выполненного Гидрометеоцентром. Низкое горизонтальное разрешение данных не позволяет сделать выборку макропараметров непосредственно для точки наблюдений, но поскольку рассматриваемые величины описывают крупномасштабное состояние атмосферы, можно считать корректным выбранное приближение.

Построенная модель в определенной мере объясняет лишь часть сезонной изменчивости концентрации приземного озона. Построение модели по сезонам также не улучшает ее предиктивных свойств.

В качестве самого информативного параметра для описания всего ряда выступает температура на уровне 200 мб. Коэффициент корреляции между измерениями и моделью составляет 0,2, и модель объясняет 20 % наблюдаемой изменчивости КПО. Если рассматривать сезонные модели, то для зимы определяющую роль играет значение геопотенциала на уровне 200 мб, для весны, лета — скорость ветра на уровне 850 мб, осени — скорость ветра на уровне 300 мб. Соответствующие коэффициенты корреляции составляют 0,18, 0,19, 0,29 и 0,15 соответственно.

Планируется расширить и улучшить исследования путем привлечения данных реанализа Европейского центра краткосрочных и среднесрочных прогнозов погоды ERA40 и данных наблюдений за концентрацией приземного озона на сети станций EMEP.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 03-05-64712.

**Анализ межгодовых изменений общего содержания озона  
над территорией России в 1973–2002 гг.  
по измерениям станций сети Росгидромета**

*О.А. Сыроваткина<sup>1</sup>, И.Л. Кароль<sup>2</sup>, А.М. Шаламянский<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова, Санкт-Петербург

Рассмотрены межгодовые изменения среднегодовых и средних за декабрь – март значений общего содержания озона (ОСО) по измерениям наземных станций в пяти регионах России в зависимости от температуры и параметров циркуляции суб- и арктической стратосферы в зимние месяцы. Учитываются квазидвухлетние колебания в экваториальной стратосфере, фазы Арктического и Северо-Атлантического колебаний, частота появления полярных стратосферных облаков. Установлена высокая статистическая значимость различия среднегодовых и средних за декабрь – март ОСО в годы с теплой (холодной) зимней арктической стратосферой со слабым (сильным) струйным течением границы полярной ночи.

## Реакционно-диффузионные волны в атмосфере Земли

*М.Ю. Куликов, А.М. Фейгин*

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Достаточно давно было показано, что в распределенных химических системах, обладающих нетривиальными нелинейно-динамическими свойствами, могут возникать реакционно-диффузионные волны в виде бегущих фронтов, импульсов, спиральных волн, периодических и непериодических последовательностей волн и др. Такие волны обнаружены в системах различной природы (химических, биологических, геологических и др.), однако до настоящего момента была известна всего лишь одна работа [1], в которой рассмотрена возможность возникновения реакционно-диффузионных волн в атмосфере Земли. Авторы [1] в качестве причины возникновения реакционно-диффузионных волн рассматривали классический для нелинейных химических систем (например, типа Белоусова-Жаботинского) механизм, обусловленный мультистабильностью. В данной работе предложен и исследован принципиально иной, специфичный для средней атмосферы механизм возбуждения реакционно-диффузионных волн. Проведен анализ замкнутой одномерной цепочки диффузионно-связанных химических осцилляторов, обладающих нелинейным (субгармоническим) откликом (с периодом 2, 3 или 4 суток) на внешнее периодическое волновое возмущение с периодом 1 сутки и волновым числом, равным единице. Эта задача моделирует фотохимические процессы, реально протекающие в области мезопаузы земной атмосферы (высоты 80–87 км над уровнем моря), в условиях суточных вариаций освещенности и действия горизонтальной (вдоль широтного круга) турбулентной диффузии. В результате численного моделирования обнаружено, что для всех перечисленных выше значений периода субгармонических осцилляций в системе возникают реакционно-диффузионные волны в виде бегущих фронтов и импульсов, которые представляют собой фазовые волны, распространяющиеся в зональном направлении. Кроме того, найдена реакционно-диффузионная волна в виде бегущего фронта, приводящего, по мере своего распространения, к изменению периода химических осцилляций. Определены аналитические зависимости скорости распространения обнаруженных реакционно-диффузионных волн от основных параметров системы (коэффициента турбулентной диффузии и широты), которые оказались принципиально различными для разных гармоник субгармонического отклика. Обсуждается вероятность возникновения обнаруженных эффектов в реальных условиях мезосферы и возможность их регистрации современными методами зондирования атмосферы.

1. Fox J.L., Wofsy S.C., McElroy M.B., Prather M.J. A stratospheric chemical instability // J. Geophys. Res. (C). 1982. V. 87, P.11126–11132.

## **Байесов подход к восстановлению вертикального профиля озона по данным радиометрических измерений**

*Я.И. Мольков, Д.Н. Мухин, Е.В. Суворов, А.М. Фейгин*

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Предложена методика восстановления вертикальных распределений (профилей) атмосферных газовых составляющих по данным пассивного радиометрического зондирования атмосферы. Целью данной методики, основанной на статистическом (Байесовом) подходе к решению обратных задач, является построение вероятностного распределения для искомой величины во всем интервале зондируемых высот. Для этого используются как предположения об измерительном шуме, входящем в исходные данные, так и априорная информация о свойствах самого профиля. Предложена аппроксимация искомого профиля функцией в виде искусственной нейронной сети. Показано, что такая аппроксимация позволяет оптимальным образом включать априорную информацию в процедуру восстановления, обеспечивая, тем самым, наиболее эффективную регуляризацию задачи. Эффективность предложенной методики продемонстрирована на примере восстановления вертикального профиля озона по данным наземного зондирования атмосферы в миллиметровом диапазоне длин волн. Представлены результаты восстановления профиля как по модельным данным, так и по спектрам радиационной температуры атмосферы, измеренным в Апатитах зимой 2002–2003 гг.

## **Статистический подход к реконструкции динамических систем по временным рядам**

*Е.М. Лоскутов, Я.И. Мольков, Д.Н. Мухин, А.М. Фейгин*

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Предложен способ реконструкции динамических систем (ДС) по временным рядам, основанный на байесовом (статистическом) подходе к решению обратных задач. Существенным достоинством подхода является универсальность: он «по происхождению» пригоден для анализа временных рядов (ВР), зашумленных произвольным образом: как в процессе генерации, так и при измерениях. С другой стороны, корректный в смысле соблюдения условий лежащей в основе теоремы байесов подход к реконструкции ДС практически не реализуем в наиболее интересном случае хаотических ВР. Разработана модификация этого подхода, позволяющая применить его для реконструкции ДС по зашумленным хаотическим ВР, обобщенная также на случай стохастических ДС (систем, подверженных случайному внешнему воздействию). Обсуждаются условия применимости подхода.

## **Моделирование эмиссии метана из многолетнемерзлых болот криолитозоны России при изменении климата**

*С.А. Ренёва*

Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург

Арктические почвы содержат около 455 Гт С, что составляет порядка 14 % от общего почвенного углерода всей суши. Около 50 Гт содержится в многолетнемерзлых болотах, которые в северном полушарии занимают приблизительно 2 млн. км<sup>2</sup>. В настоящее время в углеродном цикле участвует только малая часть торфов мерзлых болот, сосредоточенная в сезонно протаивающем слое. Изменение глубины сезонного протаивания и температуры торфяной залежи может существенно повлиять на баланс углерода в области криолитозоны.

Современные климатические изменения вызвали увеличение температуры воздуха в континентальных районах Аляски и Сибири более чем на 2 °С, при этом в последнее десятилетие, согласно немногочисленным данным, тундра из стока переходит в источник углерода. Дальнейший рост температуры воздуха приведет к более глубокому сезонному протаиванию многолетнемерзлых болот и увеличению притока углерода в атмосферу. В зависимости от условий аэрации почвенный углерод может образовывать как метан, так и углекислый газ, поступающий затем в атмосферу. Особый интерес представляет эмиссия углерода в форме CH<sub>4</sub>, парниковый эффект которого более чем в 20 раз превышает воздействие равного количества CO<sub>2</sub>. Образование метана происходит в анаэробных условиях ниже уровня болотных вод. Целью данной работы являлась оценка изменения притока метана из многолетнемерзлых болот криолитозоны России в условиях будущего климата.

С использованием ГИС-технологий нами были рассчитаны площади 59 846 болот криолитозоны России, определена доля площади, занимаемой болотами в каждой из ячеек пространственной сетки 0,5×0,5 градуса, и составлен электронный атлас. При помощи модели вечной мерзлоты были проведены расчеты изменения глубины сезонного протаивания и объема талого торфа для прогнозов климата на середину 21 века. Модель углеродного цикла была применена для оценки ожидаемого в будущем относительного изменения эмиссии метана, обусловленного увеличением сезонного протаивания болот криолитозоны. К середине 21 века оно составит порядка 80 % у арктического побережья, 30–50 % в центральной Сибири и 20 % и менее в восточной и юго-восточной областях криолитозоны.

**Применение SVD и EOF методов для анализа  
пространственно-временных полей ОСО,  
УФ эритемной облученности и атмосферного альbedo  
по спутниковым данным TOMS 8**

*Н.А. Крамарова, Г.И. Кузнецов*

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва

Для выделения особенностей изменчивости пространственно-временных полей УФ эритемной облученности, общего содержания озона (ОСО), аэрозольного индекса и атмосферного альbedo, а также для анализа взаимных связей между этими полями были использованы метод эмпирических ортогональных функций (EOF) и метод сингулярного разложения (SVD). В качестве исходных данных использовались спутниковые данные TOMS 8, представленные в виде соответствующих долготно-широтных ежедневных полей с пространственным разрешением 1,250 по долготе и 1,00 по широте.

Для выявления особенностей внутригодовой изменчивости исследуемых величин проводился анализ ежедневных пространственных полей для одного года (2000 г.). Предварительный анализ показал, что первая EOF мода для всех величин отражает годовой ход. Пространственные структуры первой EOF моды УФ эритемной облученности и первой EOF моды ОСО обладают четкой широтной структурой. SVD анализ, проведенный между полями УФ облученности и ОСО, и между полями УФ облученности и атмосферного альbedo, показал высокую ковариацию между полями. Так первая SVD мода между полями ОСО и УФ эритемной облученности выделяет более 94 % ковариации между полями, а первая SVD мода между полями атмосферного альbedo и УФ эритемной облученности выделяет почти 97 % ковариации между полями. Причем пространственная структура первых SVD векторов УФ облученности точно восстанавливает структуру первой EOF моды УФ облученности. Обнаружены интересные пространственные и временные квазипериодические структуры в EOF и SVD модах ОСО, которые могут обсуждаться в рамках уже известных особенностей распределения озона.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 03-05-64712.



## Дистанционное определение характеристик турбулентности в АПС

*Р.Д. Кузнецов*

Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Москва

Измерения вариаций электрического поля в нижней атмосфере в сочетании с измерениями характеристик турбулентности в атмосферном пограничном слое могут помочь разграничить вариации, связанные с перемешиванием воздушных масс (которые содержат электрические заряды), и собственные вариации электрического поля, связанные с грозовой активностью, либо другими изменениями глобальной электрической цепи. В отсутствие синхронных измерений, полезно сравнить хотя бы статистические характеристики параметров турбулентности и электрического поля. При подобных сравнениях нельзя ограничиваться приземными данными о турбулентности, поскольку перемешивание охватывает всю толщу пограничного слоя.

Информация о характеристиках пограничного слоя может быть получена с помощью акустической локации. Доплеровские акустические локаторы (содары) измеряют лучевые компоненты скорости перемещения мелкомасштабных турбулентных неоднородностей, увлекаемых ветровым потоком. Основной областью применения содаров является определение вертикальных профилей средней скорости и направления ветра. Развитие в настоящей работе аппаратура и методы позволяют, кроме этого, получать профили таких параметров турбулентности как дисперсия вертикальной составляющей скорости ветра, потоковое число Ричардсона, скорость диссипации кинетической энергии, поток импульса и коэффициент турбулентной диффузии.

В докладе описана методика содарного определения дисперсионных параметров; приведены результаты сравнения дистанционных данных с локальными измерениями на метеорологических вышках; представлены суточные хода параметров турбулентности в диапазоне высот от 30 до 300–400 м и вертикальные профили этих параметров при устойчивой, нейтральной и неустойчивой стратификации.

Приведены примеры некоторых статистических характеристик низкочастотных временных и мезо-масштабных пространственных вариаций параметров турбулентности, а также оценки времени жизни мезо-масштабных квазирегулярных турбулентных образований.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 04-05-64167.

## **Модель зонально-осредненной циркуляции средней атмосферы — численные эксперименты и верификация**

*К.Б. Моисеенко<sup>1</sup>, А.Н. Беляев<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Москва

<sup>2</sup> Институт прикладной геофизики им. Е.К.Федорова, Москва

Разработана модель зонально-осредненной циркуляции средней атмосферы на высотах от 16 до 120 км. Модель основана на решении системы прогностических уравнений остаточной циркуляции с учетом переноса солнечной коротковолновой радиации и инфракрасной радиации с учетом суммарного альбеда системы нижняя атмосфера + земля (параметризации Лациса – Хансена и Фомичева – Шведа). Модель механистическая (химические процессы не рассматриваются); в то же время, она является самосогласованной, поскольку нижнее граничное условие для поля тока устанавливается непосредственно из расчетов, что позволяет в явной форме учитывать процессы обмена с ниже лежащими слоями атмосферы. В модели используется подробная нелинейная параметрическая схема для внутренних гравитационных волн (ВГВ) А.Н.Беляева, в которой в качестве внешнего параметра задается «тропосферный генератор ВГВ», характеристики которого считаются известными. Результаты модельных расчетов полей зонального ветра и температуры хорошо согласуются со спутниковыми данными (UARS). В частности, модель адекватно воспроизводит сезонный ход высоты мезопаузы и обращение зонального ветра в нижней термосфере. На основе численных экспериментов были также получены количественные оценки потока волновой энергии из нижней атмосферы в среднюю для разных широт и проведен качественный анализ влияния сезонного хода данной величины на интенсивность меридиональной циркуляции.

## О линейном механизме диссипативно центробежной неустойчивости в реализации начальной стадии развития тропических циклонов (тайфунов)

*В.Н. Блажко, С.Г. Чефранов*

Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Москва

Фундаментальная, нерешенная до сих пор, проблема установления первичных механизмов формирования тропических циклонов (тайфунов) является актуальной в динамической метеорологии и геофизической гидродинамике [1–7]. При этом в [1, 4, 5] отмечается, что такой первичный механизм должен быть связан с реализацией какой-либо линейной неустойчивости. Известно также, что область локализации тропического циклона может быть ассоциирована с соседствующей антициклонической зоной вихревой активности, как по данным натурных наблюдений [2–5], так и согласно лабораторным экспериментам [6] по физическому моделированию возникновения тайфунов. Кроме того, еще в работе [1] отмечалась возможность важной роли придонного поверхностного (экмановского) трения, как энергетического первичного источника в механизме зарождения тропических циклонов.

Все отмеченные выше факторы (линейность механизма неустойчивости, наличие соответствующей генерации тайфунов антициклонической активности и придонного — линейного, по скорости, трения) естественно могут проявляться в рамках предлагаемого допустимого первичного линейного механизма тропического вихрегенеза, обусловленного, как показано, линейной диссипативно-центробежной неустойчивостью (ДЦН) [8].

В настоящей работе показано, что начальная стадия развития тайфуна может быть связана с предварительной генерацией крупномасштабного антициклонического вихря за счет линейного нетеплового механизма ДЦН. Установлены пороговые условия зарождения циклонической вихревой активности при вторичной реализации ДЦН на фоне твердотельного антициклонического вращения.

1. Charney J.G., Eliassen A. // J. Atmos. Sci. 1964. V. 21, № 68.
2. Эволюция тайфунов, ред. Федорей В.Г., Л. 1987
3. Zimin V.D., Levina G.V., Veselov V.M., Moiseev S.S., et al. Proc. of Int. Symp. on Generation of Large-Scale Structures in Continuous Media (Eds. R.Z. Sagdeev, U.Frisch, F. Hussain, S.S. Moiseev, N.S. Erokhin) World Scientific, Singapore. 1991. P.327–336
4. Rutkevich P.B., Physica. 2002. V. A 315, № 215.
5. Руткевич П.Б., Крупномасштабные неустойчивости в однофазных и двухфазных конвективных средах // Док. дисс., ИКИ РАН, М. 2004.
6. Богатырев Г.П., Смородин Б.Л. // Письма в ЖЭТФ. 1996. Т. 63. № 25.
7. Наумов А.Д., Николаева А.В. // Метеорология и гидрология. 2003. Т. 33. № 10.
8. Чефранов С.Г. // Письма в ЖЭТФ. 2001. Т. 73. № 312.

## **Влияние направления переноса на приземную концентрацию озона**

*Н.В. Панкратова, Н.Ф. Еланский*

Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Москва

На основе данных по концентрации озона с Кисловодской высокогорной научной станции (КВНС) и рассчитанных обратных 3D-траекторий было изучено влияние направления переноса воздушных масс на концентрацию озона на станции. Траектории были получены с помощью модели FLEXTRA за период с 1989 по 2001 гг. Для изучения дальнего переноса было использовано два подхода. Первый — когда территория делилась на 11 крупных квадратов и, по относительному времени нахождения воздуха в каждом регионе, велось изучение синоптических процессов, характерных для района станции, и преобладающих направлений переноса. Для первого подхода траектория не приписывалась определенному квадрату, а учитывалось только время нахождения траектории в определенном регионе. Вторым подходом состоял в выделении 8 секторов, были отобраны траектории, соответствующие определенному сектору.

Секторный анализ показал, что чем больше воздух находился в определенном секторе, тем ярче проявляется влияние направления выноса на концентрацию озона на КВНС. В теплый период пониженное содержание озона соответствует затакам воздуха из восточного северо-восточного и юго-юго-восточного секторов, повышенное — из юго-юго-западного и северо-северо-западного. В холодный период пониженная концентрация озона соответствуют затакам из восточного юго-восточного и северо-северо-западного секторов, повышенное содержание озона связано преимущественно с приходом воздуха из восточного северо-восточного и западного северо-западного секторов. Также было выявлено, что в холодный период при затаках воздуха из северной Африки и с Иранского нагорья концентрация озона на станции понижается, увеличение озона связано с приходом воздуха из Южной Европы. Как и для холодного периода, в теплое время года затаки из Африки соответствуют пониженному содержанию озона, вынос из Центральной и Южной Европы приводит в основном к незначительному повышению концентрации озона на КВНС.