

**Моделирование фотохимических,  
радиационных и динамических  
процессов в атмосфере.**

## Влияние низкоуровневых струйных течений на ближний перенос атмосферных примесей

*М.А.Каллистратова, Р.Д.Кузнецов, Д.Д.Кузнецов*

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

В ночное время часто наблюдается острый максимум в профиле скорости ветра в слое от 50 м до 400 м над подстилающей поверхностью. Горизонтальная протяженность таких струйных течений достигает десятков километров, а скорость ветра в максимуме может превышать скорость геострофического ветра. В нижней части низкоуровневого струйного течения (НСТ) происходит сильный сдвиг ветра, который приводит к значительной турбулизированности всего инверсионного слоя, несмотря на его устойчивую термическую стратификацию. Примечательно, что такие течения наблюдаются даже над однородной равнинной местностью, вне связи с какими-либо стоковыми или фронтальными процессами. В качестве причины образования НСТ в середине прошлого века был предложен механизм резкого уменьшения турбулентной вязкости потока при смене неустойчивой термической стратификации атмосферного пограничного слоя (АПС) на устойчивую [1].

НСТ оказывают большое влияние на тепло-массо-обмен в АПС. Высота максимума струи обычно расположена около верхней границы приземной радиационной инверсии или приподнятой инверсии, т. е. вблизи «запирающих слоев», в которых накапливаются загрязняющие примеси. Поэтому время ближнего переноса загрязнений в АПС в ночное время определяется именно скоростью струи, а не геострофическим ветром. Из-за низкого расположения и небольшой вертикальной протяженности (50–150 м) НСТ не регистрируются при стандартном аэрологическом зондировании, и для их изучения требуется проведение специальных измерений. Поэтому интенсивное изучение НСТ началось с развитием дистанционных методов измерения скорости ветра в АПС [2-5], хотя само явление наблюдалось еще Ричардсоном [6].

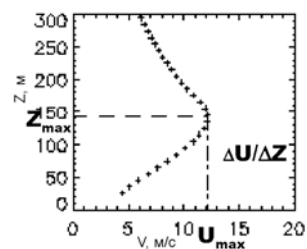
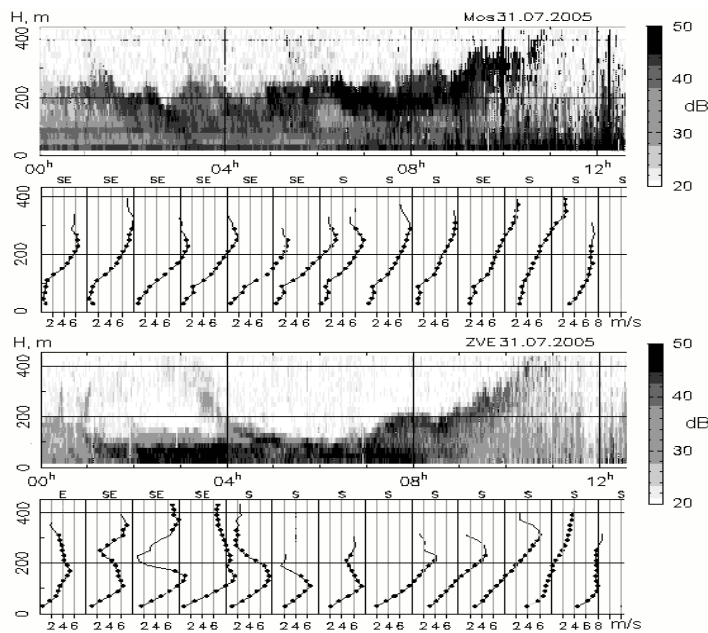


Схема НСТ и его параметры.

В докладе изложены результаты содарных исследований НСТ в Цимлянске, Москве и Московской области. Представлена статистика повторяемости НСТ, распределения высоты максимума струи и скорости ветра в максимуме. Показана связь времени возникновения струи и ее параметров с характеристиками приземного слоя атмосферы (величиной суточных изменений потока тепла, турбулентной вязкости, кинетической энергии), а также с погодными условиями (средней скоростью ветра, облачностью, амплитудой суточного хода температуры). Сделаны оценки времени ближнего переноса примесей при наличии НСТ. Особое внимание уделено различию в частоте появления и в параметрах струйных течений в Москве и в сельской местности.



Эхограммы и профили скорости ветра по синхронным содарным измерениям в центре Москвы (вверху) и в сельской местности в 50-ти км от Москвы (внизу).

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 07-05-00521.

### Литература

1. *Фесенков В.Г.* О строении атмосферы (фотометрический анализ сумерек) // Труды Главной российской астрофизической обсерватории. 1923. **2**. С.7
2. *Розенберг Г.В.* Сумерки. Москва, Изд-во физ.-мат. лит-ры. 1963
1. *Blackadar A.K.* Boundary layer wind maxima and their significance for the growth of nocturnal inversions // Bull. Amer. Meteor. Soc. 1957. **38**. P. 283-290.
2. *Каллистратова М.А., Кедров И., Петенко И.В., Тиме Н.С.* Опыт измерения профилей средней скорости ветра в нижней тропосфере содарным анемометром в инверсионных и конвективных условиях // Известия АН СССР, ФАО. 1985. **21**, № 5. С. 492-497.
3. *Coulter R.L., Kallistratova M.A.* The role of acoustic sounding in a high-technology era. Meteorol. Atmos. Phys. 1999. **71**. P.3-13.
4. *Banta R.M., Newsom R.K., Lundquist J.K., Pichugina Y.L., Coulter R.L., Mahrt L.* Nocturnal low-level jet characteristics over Kansas during CASES-99 // B.- Layer Met. 2002. **105**. P.221-252.
5. *Banta R.M., Mahrt L., Vickers D., Sun J., Balsley B.B., Pichugina Y.L., Williams E.J.* The very stable boundary layer on nights with weak low-level jets // J.Atm.Sci. 2007. **64**. № 9. P.3068-3090.
6. *Richardson L.F.* Wind above the night-calm at Benson at 7 a.m. // Q.J.RMS. 1923. **49**. P.34-38.

## Динамика стратифицированных воздушных потоков над горами

К.Б.Моисеенко

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

Изучение локальных явлений, возникающих при прохождении крупномасштабного потока над горами, представляет большой практический и теоретический интерес. Корректный учет особенностей мезомасштабной структуры полей метеорологических элементов в районах со сложной орографией необходим для локального прогноза полей ветра, облачности и осадков, опасных погодных явлений, а также при анализе и интерпретации различных данных наблюдений и модельных расчётов. Благодаря наличию восстанавливающей силы, взаимодействие потока с неровностями земли приводит к генерации волновых возмущений, способных распространяться на значительное расстояние от породившего их источника. Установлено, что поле орографических возмущений в свободной атмосфере в значительной мере формируется под влиянием эффектов, ведущих к перераспределению волновой энергии между слоями воздуха с различными значениями фоновой скорости и/или статической устойчивости [1,2]. Влияние особенностей формы рельефа и вертикальной неоднородности потока на процесс обтекания исследовалось в большом количестве работ, прежде всего, в рамках аналитических моделей с использованием стандартных предположений о двумерности и квазистационарности течения. Использование данных упрощений, оправданных при исследованиях явлений в свободной атмосфере, позволяет рассмотреть проблему в рамках классической задачи гидродинамики об обтекании препятствия неоднородным потоком с привлечением хорошо разработанных математических подходов к её решению. В докладе излагается история вопроса, рассмотрены примеры реальных атмосферных ситуаций с привлечением обширных данных наблюдений орографических волн над Скалистыми горами, Уралом, Крымскими горами и в других географических районах. Кратко рассмотрены математические методы, используемые при решении задачи в рамках аналитического и численного подхода, а также основные проблемы, возникающие при построении подобных моделей. Проводится аналогия между свойствами воздушных потоков в реальной атмосфере и течениями в каналах, исследовавшимися в лабораторных экспериментах Лонга [3] и Дэвиса [4].

### Литература

1. *Кибель И.А.* Введение в гидродинамические методы краткосрочного прогноза погоды. Гостехтеоретиздат, М., 1957
2. *Eliassen A., Palm E.* On the transfer of energy in stationary mountain waves. *Geophys. Pub.* v.22, No. 3, pp. 1-23, 1961
3. *Long, R.R.* Some aspects of the flow of stratified fluids. III. Continuous density gradients, *Tellus*, v. 7, pp. 341-357, 1955
4. *Davis R.E.* The two-dimensional flow of a stratified fluid over an obstacle. *J. Fluid. Mech.*, V.30, part 1, pp. 127-143, 1969

## **От турбулентных вихрей до циклонов: гидродинамическая неустойчивость в атмосфере**

*Н.П.Шакина*

Гидрометеорологический научно-исследовательский центр России, Москва

Дается обзор проявлений гидродинамической неустойчивости в атмосфере как основного механизма волно- и вихреобразования в широком диапазоне масштабов. В результате гидродинамической неустойчивости в атмосфере развиваются такие явления, как турбулентность, внутренние гравитационные волны, волны Кельвина-Гельмгольца, конвективные облака и «облачные улицы» на разных высотах в тропосфере, тропические циклоны, а также циклоны и антициклоны умеренных широт и планетарные волны. Закономерности возникновения вихревых и волновых движений в результате гидродинамической неустойчивости определяются соотношением сил инерции и плавучести, силы Кориолиса и горизонтальной неоднородности температуры и ветра в атмосфере.

## Аридный аэрозоль

*Г.И.Горчаков*

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

Минеральный аэрозоль заметно влияет на радиационный режим атмосферы и климат. Значительная часть минерального аэрозоля поступает в атмосферу с опустыненных территорий. Согласно современным представлениям на опустыненных территориях аэрозоль генерируется на подстилающей поверхности под воздействием ветропесчаного потока. Процессы, происходящие в ветропесчаном потоке, до сих пор недостаточно изучены. Важную роль в генерации аэрозоля может играть аномально высокая электризация ветропесчаного потока или слоя сальтации.

Современные глобальные модели дают возможность предсказать распределение минерального аэрозоля в земной атмосфере, если известны закономерности генерации аэрозоля на подстилающей поверхности. Для того чтобы оценить скорость выноса аэрозоля с подстилающей поверхности необходимо изучать не только микроструктуру аридного аэрозоля, но и флуктуации микроструктуры аэрозоля [1]. Скорость выноса аэрозоля можно определить, измеряя вертикальные турбулентные потоки для различных фракций аэрозоля [2].

Вертикальный поток аэрозоля в настоящее время принято оценивать по величине потока сальтации. Однако о вариациях параметров сальтации до сих пор известно очень мало. Сейчас появились приборы, с помощью которых можно найти распределение сальтирующих песчинок по размерам и высоте.

Параметры сальтации в первую очередь определяются скоростью ветра и режимом турбулентности. Особый интерес представляет исследование влияния вихрей и когерентных вихревых структур на процесс сальтации [3].

В ветропесчаном потоке зарегистрированы аномально большие значения напряженности электрического поля и электрических зарядов песчинок [4]. Электрические токи сальтации на несколько порядков превышают электрический ток «хорошей погоды» [5]. Показано, что в ветропесчаном потоке формируется стохастический двойной электрический слой.

Слой сальтации меняет характер взаимодействия атмосферы с подстилающей поверхностью на опустыненных территориях. Он трансформирует потоки тепла, количества движения и турбулентной кинетической энергии.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 07-05-01080а) и Программы ОНЗ РАН «Геофизика межгеосферных взаимодействий».

### Литература

1. *Горчаков Г.И., Шукуров К.А.* Флуктуации концентрации субмикронного аэро-

- золя в конвективных условиях. // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2003. Т.39, №1, С.85-97.
2. *Gorchakov G. I., Koprov B. M., Shurikov K.A.* Vertical Turbulent Aerosol Fluxes over Desertized Areas. // *Izvestia, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2002 V.38. Suppl.1. P.S138-S147.
  3. *Горчаков Г.И., Копров Б. М., Шуриков К.А.* Вихревой вынос аридного субмикронного аэрозоля. // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2003. Т. 39, №5. С. 596-608
  4. *Schmidt D.S., Schmidt R.A., Dent J.D.* Electrostatic force on saltating sand. // *J. Geophys. Res.* 1998. V. 103, №D8. P. 8997-9001.
  5. *Горчаков Г.И., Ермаков В.И., Копейкин В.М., Исаков А.А., Карпов А.В., Ульяновко А.В.* Электрические токи сальтации в ветропесчаном потоке // Доклады АН. 2006. Т. 410. № 2. С.259-262.

## Термодинамика атмосферного аэрозоля

*А.Н.Ермаков*

Институт энергетических проблем химической физики РАН, Москва

Одна из ключевых задач мониторинга атмосферы связана с регистрацией в воздухе аэрозолей. При этом нередки случаи, когда их ионный состав включает  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}/\text{H}_2\text{O}$ . Предшественниками таких аэрозолей служат эмитируемые в атмосферу газообразные  $\text{SO}_2$  и  $\text{NO}_x$  естественного и антропогенного происхождения. Их фотохимическое окисление в атмосферном воздухе ведет к появлению паров серной и азотной кислот  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ . В присутствии газообразного аммиака (почвенная эмиссия, антропогенные источники) термодинамически благоприятным оказывается спонтанный переход этих газообразных веществ в конденсированное состояние. При этом в зависимости от температуры и относительной влажности возможно существование аэрозоля как в форме кристаллических частиц, так и в форме жидких капель. Детально условия возникновения аэрозольных частиц в атмосфере ( $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}/\text{H}_2\text{O}$ ) и влияние температуры и относительной влажности можно анализировать, используя методы химической термодинамики. Подробному изложению этого подхода и его использованию в анализе данных натуральных экспериментов посвящена настоящая работа.



## **Байесова стратегия оценки точности характеристик, извлекаемых из экспериментальных данных с помощью базовых динамических моделей**

*М.Ю.Куликов, Д.Н.Мухин, А.М.Фейгин*

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Одной из характерных особенностей современных исследований различных процессов является многократный (и все более ускоряющийся) рост объема накапливаемой информации в условиях весьма ограниченного числа регистрируемых характеристик. Такая ситуация типична, например, при исследовании атмосферных процессов, когда сколько-нибудь исчерпывающие исследования являются целью специальных (чаще всего краткосрочных) кампаний и экспедиций; именно результаты, полученные в ходе таких кампаний, позволяют выявить причины явления и прогнозировать его будущую эволюцию. Объектом же регулярных измерений (как наземных, так и спутниковых) являются, в силу многих причин, лишь небольшое число характеристик изучаемой системы. Как правило, получаемая в результате информация недостаточна для выяснения механизмов, ответственных за эволюцию системы и, тем самым, может приводить к ошибочным выводам в отношении будущего поведения системы.

Хорошо известный способ увеличить информативность экспериментальных данных — использование моделей «из первых принципов» (например, систем дифференциальных уравнений), адекватно описывающих, по мнению исследователя, изучаемую систему. Во многих случаях, однако, такие «адекватные» модели чрезвычайно сложны (имеют высокий порядок по времени и включают пространственно-распределенные процессы), так что объем данных (начальных и граничных условий), необходимых для отыскания (с помощью моделей) не измеряемых непосредственно переменных и параметров, существенно превышает возможности современного эксперимента.

Естественный выход из данной ситуации — упрощение слишком сложных, в указанном смысле, моделей. Метод корректного (без «потери адекватности») упрощения широкого класса моделей (на примере «полных» моделей атмосферных фотохимических систем) был предложен около десяти лет назад [1,2]. Недавно стало ясно [3], что «врожденные» особенности БДМ (минимально необходимый для описания изучаемого явления порядок по времени, наиболее простой (при этом адекватный) учет пространственно-нелокальных связей и, наконец, выделение в явном виде максимально возможного числа локальных во времени и пространстве соотношений между независимыми переменными полной модели), делают БДМ эффективным инструментом для извлечения дополнительной информации из экспериментальных данных.

Еще одна проблема, возникающая при обработке экспериментальных данных (в том числе — с помощью теоретических моделей) — оценка точности восстанов-

ливаемых характеристик. Нелинейность и нелокальность изучаемых систем и процедур восстановления означают возможность сильного отклика системы на малые изменения начальных условий и параметров, что делает прямой пересчет известной ошибки измерений в погрешности восстанавливаемых характеристик бессмысленным. Известный способ преодолеть данную проблему — построение статистического ансамбля параметров используемой модели; характеристики этого ансамбля должны соответствовать характеристикам погрешностей используемых данных. Один из наиболее последовательных подходов к построению такого ансамбля основан на теоремах Байеса [4] и включает отыскание многомерной функции распределения переменных и параметров модели [5,6]. К сожалению, численное построение такой функции и ее использование даже для сравнительно простых систем оказывается весьма ресурсоемким. В случае же использования полных моделей более сложных (например, большинства атмосферных) систем реализация байесова подхода для оценки точности получаемой информации становится практически невозможной. Таким образом, применение для обработки экспериментальных данных гораздо более простых базовых динамических моделей позволяет рассчитывать не только на получение максимально возможной дополнительной информации, но и на корректную оценку точности получаемых данных.

В лекции обсуждается байесова оценка точности характеристик, извлекаемых из экспериментальных данных с помощью базовых динамических моделей. Кратко излагаются необходимые сведения о методе построения базовых динамических моделей атмосферных фотохимических систем и принципах байесовой стратегии оценки статистических гипотез. Подробно рассматривается пример восстановления вертикального распределения концентрации водяного пара в мезосфере по измерениям профилей озона и гидроксидов и отыскания доверительных интервалов, характеризующих точность восстановления на различных высотах.

#### **Литература**

1. *Feigin A.M., Kononov I.B., Molkov Y.I.* Toward an understanding of the nonlinear nature of atmospheric photochemistry: Essential dynamic model of the mesospheric photochemical system. *J. Geophys. Res.* 103. 25447–25460. 1998
2. *Фейгин А.М.* Нелинейно-динамические модели атмосферных фотохимических систем: методы построения и анализа. *Изв. РАН: Физика атмосферы и океана.* 38. 581–628. 2002
3. *Куликов М.Ю., Фейгин А.М., Зоннеманн Г.Р.* Восстановление вертикальных распределений концентраций химических компонент мезосферы по результатам одновременных измерений распределений озона и гидроксидов // *Известия ВУЗов: Радиофизика.* 49. № 9. 760–769. 2006
4. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике. М.: Наука. С.484. 1970
5. *Козлов В.П., Турчин В.Ф., Малкевич М.С.* Использование методов математической статистики для решения некорректных задач. *УФН.* Т.102. 345-386. 1970
6. *Tarantola A.* Inverse problem theory: methods for data fitting and model parameter estimation. Elsevier, Amsterdam, 1987

## Гетерогенные процессы радикалов в верхней тропосфере и нижней стратосфере

*И.И.Морозов, Е.С.Васильев*

Институт химической физики им. Н.Н.Семенова РАН, Москва

Математические модели изменения климата Земли включают в себя блок химии, состоящий из нескольких тысяч гомогенных и гетерогенных реакций. Среди этих процессов только несколько сот являются ключевыми и определяют состав атмосферы. К таким процессам относятся гетерогенные реакции оксидов галогенов на поверхностях морских аэрозолей присутствующих в значительных концентрациях в верхней тропосфере и нижней стратосфере. Было обнаружено явление потери озона в верхней тропосфере в весенний период над Арктической областью. Изменение общего содержания озона было не столь значительно, как в Антарктике, и составляет около 20%, но при этом наблюдалась чрезвычайно динамичное падение концентрации в течение нескольких дней или даже нескольких часов. При наблюдениях со спутников была зарегистрирована высокая концентрация радикала ClO в этой области. Спектроскопия поглощения показала возрастание концентрации монооксидов хлора и брома BrO для областей воздушных масс, в которых наблюдается дефицит озона. Чрезвычайно высокую скорость разрушения озона объясняют гипотезой автокаталитического восстановления молекулярного брома и хлора из соединений типа HOCl и NOBr на поверхностях тропосферных аэрозолей, в состав которых входят компоненты воды, морской соли и кислот. При этом остается открытым вопрос: откуда первоначально поступает фотохимически активный бром. Наряду с антропогенными источниками брома имеются и природные источники. Поэтому исследования взаимодействия радикалов BrO и ClO с поверхностью конденсированной фазы, в состав которой входят компоненты морской соли, важны. До сих пор в расчетах химического блока атмосферы коэффициенты захвата радикалов поверхностью аэрозолей считались не зависящими от концентрации озона. Применяя современные методики и моделируя условия верхней тропосферы, было впервые установлено, что эти коэффициенты существенно зависят от концентрации озона и, следовательно, изменяются с высотой над уровнем моря и практически не зависят от температуры.

Поддержано грантами: (РФФИ: 06-05-64646-а, 06-03-32836-а) и (NATO ESP.EAP.CLG 983035).

## Химия нижней атмосферы

*И.К.Ларин*

Институт энергетических проблем химической физики РАН, Москва

Основные химических и фотохимические процессы в газовой и конденсированной средах (твердые и жидкие аэрозольные частицы, облачные капли), определяющие химический состав воздуха в нижней атмосфере в урбанизированной и фоновых районах при различных метеорологических условиях (температура, относительная влажность, освещённость). Механизм цепного окисления  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}$  как основной источник озона в нижней атмосфере (длина цепи, её высотный профиль, роль  $\text{NO}$ ). Кинетика изменения малых составляющих воздуха в ночных условиях и при различных уровнях освещённости днём. Влияние температуры на концентрацию окислов азота, озона, формальдегида и некоторых других малых компонент. Влияние газофазных двуокиси серы и аммиака на течение жидкофазных процессов с участием аэрозолей и облачных капель, приводящее к изменению состава малых компонент в воздухе (механизм самоочищения щелочных и кислотных компонент). Механизм влияния фонового ионизирующего излучения на состав нейтральных химически активных компонент воздуха. Некоторые рекомендации по поводу мониторинга состава воздуха в урбанизированных и фоновых районах.

## **Теплообмен на антарктических станциях Беллинсгаузен и Новолазаревская в летний сезон**

*А.Ю.Артамонов*

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

Проведен сравнительный анализ потоков тепла и импульса полученных по натурным данным с использованием акустического термоанемометра методом турбулентных пульсаций в сезон 2006–2007 гг. на антарктических полярных станциях Беллинсгаузен и Новолазаревская.

Полученные результаты показывают, что на ст. Беллинсгаузен потоки тепла в летний период обычно в 2 раза больше чем на ст. Новолазаревская. Это связано, прежде всего, с региональными и климатическими особенностями этих регионов.

В работе показана необходимость усовершенствования существующих параметризаций теплообмена в полярных областях, т.к. потоки, получаемые с помощью классических методов, занижают реальные значения в несколько раз.

## Экспериментальное исследование сальтации на опустыненной территории

*Г.И.Горчаков<sup>1</sup>, А.А.Титов<sup>2</sup>, Д.В.Бунтов<sup>2</sup>*

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

<sup>2</sup> Московский государственный университет приборостроения и информатизации, Москва

При воздействии ветра на подстилающую поверхность на опустыненных территориях в приповерхностном слое атмосферы развивается процесс сальтации [1]. Для построения моделей сальтации и генерации аэрозоля на подстилающей поверхности необходимо знать распределение сальтирующих песчинок по размерам.

Измерения функции распределения сальтирующих песчинок было выполнено в августе 2007 г. в Астраханской обл. (заказник «Пески Берли») в нижнем или основном слое сальтации [1] на высоте 6 см над уровнем подстилающей поверхности с помощью специально разработанного фотоэлектрического счетчика сальтирующих песчинок.

Проанализированы вариации функции распределения, которые сопоставлены с вариациями скорости ветра на высоте 2 м.

Выполнены измерения дифференциального «твердого расхода» [1] сальтирующих песчинок в диапазоне высотой от 3 до 30 см. Преложена аппроксимация вертикального профиля дифференциального твердого расхода.

Микроскопический анализ проб сальтирующих песчинок позволил выявить характер зависимости функции распределения сальтирующих песчинок от высоты.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 07-05-01080а и 07-05-10080к) и Программы отделения наук о Земле РАН «Геофизика межгеосферных взаимодействий».

### Литература

1. Бютнер Э.К. Динамика приповерхностного слоя воздуха. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 158с.

## Анализ достоверности легендарных отклонений в годовом ходе метеорологических величин

*Е.Л.Василенко, М.А.Локощенко*

Географический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва

Задачей нашего исследования явилась проверка статистической достоверности на примере Москвы широко известных в обиходе «легендарных» особенностей годового хода метеорологических величин, связанных с календарными датами. К их числу мы отнесли так называемые «рождественские», «крещенские» и «афанасьевские» морозы, возвраты холодов в мае и «бабье лето» в начале осени. Основой работы послужила электронная база данных измерений в Метеорологической обсерватории МГУ за период 1966–2005 гг. Для проверки достоверности этих явлений были рассчитаны ряды средних за 40 лет значений основных метеорологических величин в МГУ, а также их стандартных отклонений и доверительной вероятности 0,95 за каждый отдельный день календарного года.

Как известно, во второй половине сентября и в начале октября в средних широтах возможно установление устойчивой антициклональной погоды — так называемого «бабьего лета». Однако степень регулярности этого явления зачастую преувеличивается в массовом сознании, и «бабье лето» считается чуть ли не обязательным элементом погодных условий в годовом ходе, приуроченным к конкретным датам. Наиболее ярко антициклональные условия должны проявляться в ходе атмосферного давления  $P$ , в количестве осадков  $R$  и в суточной амплитуде температуры воздуха  $A$ . Как видно из рис. 1, значения  $A$  с начала второго полугодия и до середины ноября монотонно уменьшаются. Приведённый степенной тренд 6-й степени (жирная линия) способен отразить пять изменений в знаке текущей тенденции. Тем не менее, в августе, сентябре и октябре он демонстрирует почти линейный участок плавного уменьшения этого показателя. Аналогичный тренд атмосферного давления отражает устойчивое монотонное повышение  $P$  в течение этих месяцев. Локальных максимумов, которые могли бы свидетельствовать о регулярности «бабьего лета», не наблюдается ни на одном из двух трендов, так же как нет и локального минимума в тренде значений  $R$  (здесь не приведён). С другой стороны, построенные за каждый день доверительные интервалы с уровнем значимости 5 %, ни разу за эти три месяца не вышли за пределы обоих трендов на рис. 1. Иначе говоря, среднее значение как  $A$ , так и  $P$  ни в один из календарных дней не показывает статистически значимого отклонения от общей тенденции в сторону больших значений. Таким образом, так наз. «бабье лето» в Москве не является регулярным погодным явлением и не локализовано в годовом ходе.

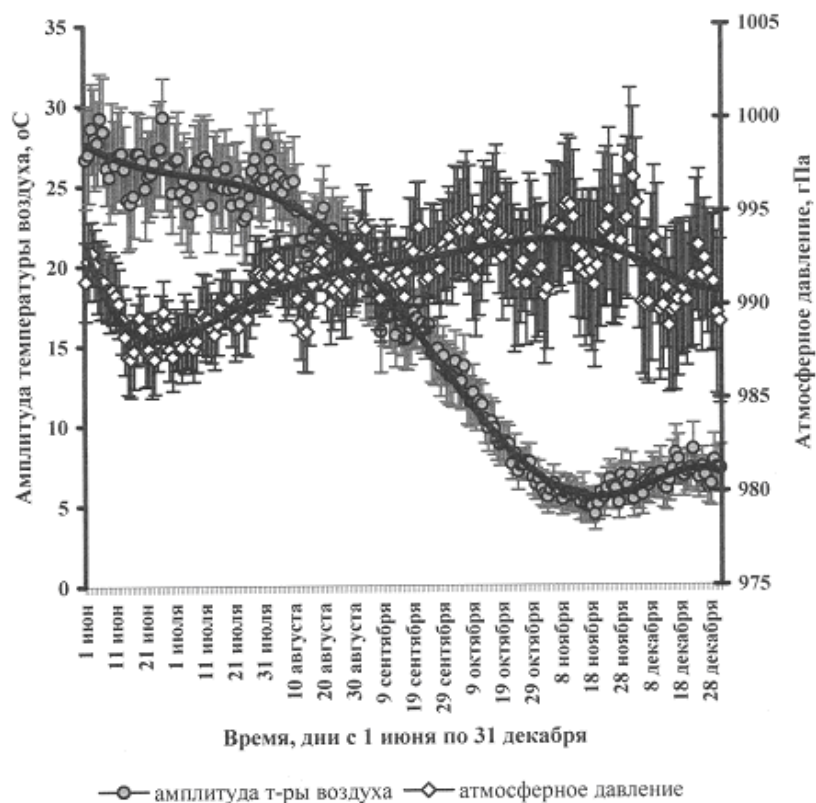


Рис.1. Полугодовой ход суточной амплитуды температуры воздуха (серые кружки) и атмосферного давления (белые ромбы) за каждый отдельный день в Москве (МГУ), 1966–2005 гг.

Аналогично при рассмотрении средней за 40 лет температуры воздуха  $T$  ото дня ко дню в конце мая не выявлено достоверного локального минимума, связанного с пресловутыми «черёмуховыми» холодами. Что касается «рождественских», «крещенских» и «афанасьевских» морозов в январе — начале февраля, то данные дни, действительно, соответствуют локальным минимумам в ходе  $T$ , однако, статистически не значимым с учётом доверительной вероятности 0,95.

Помимо этого, показана несостоятельность так называемых календарных примет погоды (прогнозов на сезон по условиям отдельного дня), не имеющих научной основы. Рассмотрено 15 подобных «примет», и их оправдываемость в среднем за 40 лет в Москве составила около 50% или даже менее.



## **Исследование переноса воздушных масс и анализ пыльных бурь в условиях резко-континентального климата Монголии**

*А.Л.Дементьева, Г.С.Жамсуева, А.С.Заяханов, В.В.Цыдыпов*  
Бурятский научный центр СО РАН, Улан-Удэ

В работе анализируются ежедневные фондовые данные погодных явлений за 5 лет (2003–2007 гг.) аридной территории ст. Сайншанд для анализа условий пыльных бурь. Получено годовое изменение количества пыльных дней за 2003–2007 гг. Установлено, что количество и продолжительность пыльных дней увеличивается с каждым годом. Отмечено, что наибольшая повторяемость пыльных бурь наблюдается в дневные и вечерние часы.

Также представлены результаты получасовых записей средних скоростей ветра, температуры, влажности воздуха во время пыльных бурь, полученные в ходе комплексной научной экспедиции в Баруун-Урт (полуаридная территория) в июле 2006 г. Приведены результаты расчета прямых и обратных траекторий движения воздушных масс в пограничном слое с помощью траекторной модели реанализа NCEP/NCAR HYSPLIT (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>).

Установлено, что в данном районе преобладает северо-восточный, восточный и юго-восточный вынос воздушных масс и северо-западный, западный, юго-западный и южный занос воздушных масс. В целом ветровой режим в пустыне Гоби повторяет направление общего переноса, характерное для свободной атмосферы, но следует отметить, что в летний период, наблюдается местная циркуляция.

Представлены высотные профили скорости ветра, которые характеризуют струйные течения над ст. Сайншанд.

Работа выполнена при поддержке комплексных интеграционных проектов СО РАН № 3.14, 3.23 и № 11.2.

## Дистанционная акустическая диагностика температурных пульсаций атмосферы

*А.П.Камардин*

Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск

Известно, что формирование аэроэлектрических полей в пограничном слое атмосферы связано, в том числе, с интенсивностью турбулентных пульсаций температуры. Такие пульсации достаточно быстро и надежно регистрируются с помощью акустических метеорологических локаторов — содаров.

В докладе представлены результаты оценок структурной постоянной температуры  $C_T^2$  (связанной с дисперсией температуры) на основе дистанционного акустического зондирования пограничного слоя атмосферы. Прослежен высотно-временной ход  $C_T^2$  при различных типах стратификации нижнего слоя атмосферы. Рассмотрены условия, необходимые для корректного восстановления профилей  $C_T^2$ . Обсуждается возможность применения в содаре калибрующих устройств, обеспечивающих непрерывный контроль амплитуды давления в звуковой волне, излучаемой антеннами содара.

## **Наземное микроволновое зондирование высотного профиля температуры стратосферы**

*Д.А.Караштин, Д.Н.Мухин, Н.К.Скалыга, Л.И.Федосеев, А.М.Фейгин,  
А.А.Швецов*

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Доказана возможность восстановления высотного профиля температуры атмосферы в стратосфере и нижней мезосфере по спектру яркостной температуры атмосферы в пределах миллиметровых линий поглощения молекулярного кислорода и показано, что восстановление его в тропосфере и верхней мезосфере принципиально невозможно. Сформулированы требования к характеристикам прибора для измерения яркостной температуры атмосферы. Приведены результаты тестирования байесового подхода к решению некорректной обратной задачи восстановления высотного профиля температуры на модельном примере, оценены его погрешности.

Исследованы технические характеристики двух супергетеродинных радиометров для измерения яркостной температуры атмосферы в миллиметровом диапазоне длин волн. Измерены их шумовые температуры и чувствительности, а также чувствительность и шумовая температура спектрорадиометров для всех частотных каналов. Показано, что данные чувствительности обеспечивают необходимую погрешность измерений.

Рассмотрен способ калибровки прибора с применением модулятора-калибратора, поставленного на вход радиометра, потери и эффективная шумовая температура которого зависят от тока смещения, подаваемого на него, что позволяет проводить калибровку без вращения части антенной системы, необходимого для калибровки по “внешним” черным телам, имеющим заданную температуру.

Обсуждаются экспериментальные результаты пробного эксперимента по регистрации исследуемой теллурической линии, демонстрирующие работу спектрорадиометра в реальных условиях. Проведено сравнение результата с теоретическими расчетами спектра яркостной температуры и показано соответствие рассчитанных данных экспериментальным с точностью ошибок измерения.

По результатам пробной регистрации спектра яркостной температуры атмосферы проведено восстановление высотного профиля температуры стратосферы согласно байесову подходу к решению некорректной обратной задачи восстановления, оценены погрешности.

# **Анализ данных синхронных измерений турбулентных пульсаций скорости ветра и флуктуаций концентраций субмикронного и грубодисперсного аэрозоля на опустыненной территории**

*А.В.Карпов*

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

В августе 2007 г. в Харабалинском районе Астраханской обл. (государственный заказник «Пески Берли») были выполнены синхронные измерения турбулентных пульсаций компонент скорости ветра с помощью акустических метеостанций Метео-2М и Metek и флуктуаций счетных концентраций аэрозоля в диапазоне размеров от 0.15 до 5 мкм с помощью лазерного спектрометра ЛАС-П и оптико-электронного счетчика частиц ОЭАС-05.

Проанализированы флуктуации дифференциальных счетных концентраций частиц аэрозоля. Выделены две компоненты приземного аэрозоля [1]: фоновая и поступающая в атмосферу с подстилающей поверхности при воздействии ветропесчаного потока. Предложена аппроксимация микроструктуры фонового и генерируемого на подстилающей поверхности аэрозоля.

Проанализированы также турбулентные пульсации модуля горизонтальной составляющей скорости ветра.

Выполнено сопоставление вариаций скорости ветра с флуктуациями счетных концентраций аэрозоля. Оценена пороговая скорость генерации аэрозоля на подстилающей поверхности.

По данным измерений турбулентных пульсаций компонент скорости ветра и температуры воздуха рассчитаны основные параметры турбулентности.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 07-05-01080а и 07-05-10080к) и Программы ОНЗ РАН «Геофизика межгеосферных взаимодействий».

## **Литература**

1. *Gorchakov G.I., Koprov B.M., Shukurov K.A.* Vertical Turbulent Aerosol Fluxes over Desertized Areas // *Izvestia, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2002. V.38. Suppl.1. P.S138-S147.
2. *Розенберг Г.В.* Сумерки. Москва, Изд-во физ.-мат. лит-ры. 1963

## Структура и динамика распределений температуры воздуха в Москве

*Д.В.Кирип, М.А.Локощепко*

Географический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва

Исследованы закономерности статистических распределений ежечасных значений температуры воздуха  $T$  для условий Москвы по данным записей термографа в Метеорологической обсерватории МГУ с 1954 года по настоящее время. Показано, что в подавляющем большинстве случаев распределение  $T$  в целом за год является бимодальным, что отражает устойчивый характер термических условий зимой и летом. Чаще всего температура воздуха отмечается в интервалах от  $-5$  до  $+5$  °С в холодное время года и от  $+10$  до  $+20$  °С — преимущественно летом. В переходные сезоны, напротив, изменение температуры происходит сравнительно быстро, что выражается в локальном минимуме значений от  $+5$  до  $+10$  °С в интервале между обеими модами. Примечательно, что среднегодовое значение температуры воздуха в Москве, как правило, соответствует именно этому межмодальному интервалу.

Обычно «зимняя» мода, связанная с меньшими значениями, является основной и локализованной в более узком интервале; вторая же «летняя» мода характеризует, как правило, дополнительный максимум на гистограмме. Однако в отдельные годы соотношение значений бывает и обратным (пример — на рис.1). Основным отличием распределений  $T$  на заре существования Метеорологической обсерватории МГУ в 1950-х гг. от современного их вида являлось наличие протяжённого «левого» крыла в распределении, связанного с очень низкими значениями  $T$  зимой: в интервалах от  $-25$  °С и менее. В последние годы эти интервалы практически не представлены реальными значениями; исключение составил 2006 год с необычно холодной зимой (рис.1). В этот год, как и полвека назад, общий вид гистограммы показывает чётко выраженную отрицательную асимметрию распределения. Именно за счёт времени с сильными морозами распределение  $T$  зимой оказалось в 2006 году расширенным в сторону очень низких значений, и величина «зимней» моды — меньше «летней».

В отдельные годы общий вид распределения оказывается более сглаженным и характеризуется наличием лишь одной протяжённой моды в широком диапазоне значений. Это связано с особенностями погодных условий в переходные сезоны года, приводящими к раннему наступлению и затяжному характеру весны или осени. Как следствие, период с промежуточными значениями  $T$  от  $+5$  до  $+10$  °С оказывается в годовом ходе необычно долгим, и межмодальный минимум в этих случаях сходит на нет.

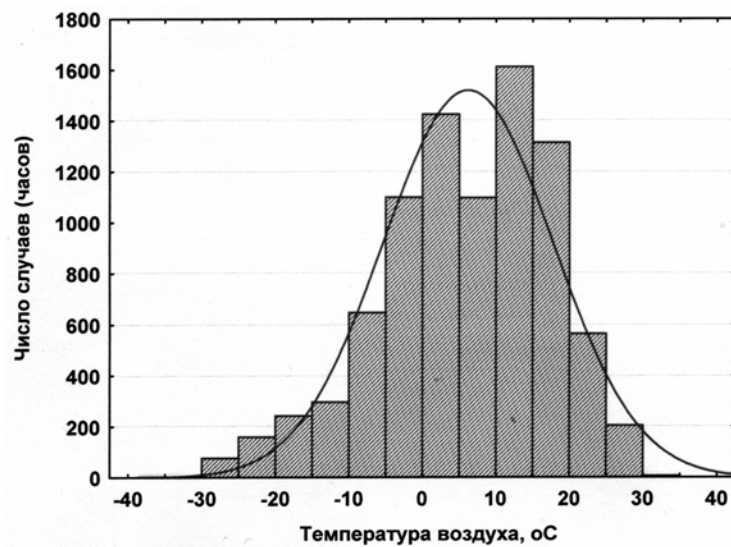


Рис.1 Гистограмма распределения температуры воздуха в МГУ за 2006 год; размер выборки — 8760 часовых значений. Для сравнения приведена кривая, соответствующая нормальному закону распределения.

## Неустойчивость Кельвина-Гельмгольца верхней границы атмосферного слоя, подогреваемого снизу

*А.В.Козин, Д.Ф.Белоножко*

Ярославский государственный университет им. П.Г.Демидова, Ярославль

Исследованы закономерности реализации неустойчивости верхней границы атмосферного слоя, являющейся комбинацией двух классических неустойчивостей: неустойчивости Рэля-Бенара (неустойчивость слоя сплошной среды по отношению к наличию вертикального градиента температуры) и неустойчивости Кельвина-Гельмгольца (неустойчивость границы раздела двух сплошных сред по отношению к наличию тангенциального к этой поверхности скачка поля скоростей). Принималось, что в декартовой прямоугольной системе координат с осью  $Oz$  направленной вверх над подогреваемым снизу атмосферным слоем толщины  $h$ , имеется гидродинамический горизонтальный поток, занимающий все верхнее полупространство над исходным слоем. В безразмерных переменных, в которых толщина нижнего слоя, его плотность и температуропроводность принимались за единицу, рассматривалась задача расчета величин: полей скоростей  $\mathbf{V}$ ,  $\mathbf{U}$  в слое и в потоке над ним, поля температур  $T$  и отклонения границы раздела потоков  $\zeta$  от горизонтального состояния.

$$\begin{aligned} z \geq \zeta: & \quad \Delta\varphi = 0; \quad \mathbf{V} = \nabla\varphi; \\ 0 \leq z \leq \zeta: & \quad \partial_t \mathbf{U} = -\nabla p + \text{Pr} \Delta \mathbf{U} + \text{Pr} \cdot \text{Ra} \cdot T \cdot \mathbf{e}_z; \quad \partial_t T - (\mathbf{U} \cdot \mathbf{e}_z) = \Delta T; \quad (\nabla \cdot \mathbf{U}) = 0; \\ z = \zeta: & \quad \partial_t \zeta = U_z; \quad -g(1-\rho) \zeta + p - 2\partial_z U_z + \rho \partial_t \varphi = 0; \\ & \quad \partial_z U_x + \partial_x U_z = 0; \quad U_z = V_z; \quad T - \zeta = 0; \\ z = 0: & \quad U_z = 0; \quad \partial_z U_z = 0; \quad T = 0; \\ & \quad \text{Ra} = g \beta A h^4 / (\kappa \chi) \text{ — число Рэля; } \text{Pr} = \nu / \chi \text{ — число Прандтля.} \end{aligned}$$

Здесь  $\rho$  — плотность потока;  $\nu$ ,  $\beta$ ,  $\chi$  — кинематическая вязкость, коэффициент кубического расширения и температуропроводность нижнего слоя;  $g$  — ускорения свободного падения;  $U_x$ ,  $U_z$  — горизонтальная и вертикальная компоненты скорости нижнего слоя;  $V_z$  — вертикальная компонента скорости в верхнем потоке.

Задача решена в первом приближении по амплитуде отклонения неизвестных величин от равновесного состояния. Исследовано дисперсионное уравнение задачи. Его анализ показал, что оба типа неустойчивости, учтенные при построении модели, существенно влияют друг на друга, взаимно снижая критические условия реализации неустойчивостей по отношению к условиям, известным из классических построений.

## **Структура атмосферного пограничного слоя над антарктическим оазисом в летний период**

*Р.Д.Кузнецов*

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

Распространение примесей в атмосферном пограничном слое определяется структурой полей ветра, температуры и турбулентности. Структура этих полей в удаленных районах, в том числе в Антарктике, мало изучена. В докладе представлены результаты содарных исследований АПС над антарктическим оазисом.

Оазис Ширмахера расположен на земле королевы Мод в 80 километрах от антарктического побережья. Он представляет собой узкое обнажение скальных пород размерами примерно  $2 \times 20$  километров между континентальным и шельфовым ледниками. Содарные измерения проводились на оазисе в летний сезон 2006–2007 годов.

Основной целью исследований была оценка возможностей акустической локации в условиях оазиса, а также изучение вертикальной структуры АПС над ним. Для измерений использовался однокомпонентный вариант малогабаритного акустического локатора ЛАТАН-3, разработанного в ИФА РАН.

В ходе измерений получены данные о структуре АПС при различных характерных для этой местности метеоусловиях. Определены параметры вертикального распределения скорости кatabатических ветров, формирующихся в ночное время над склоном континентального ледника. Также получены характерные параметры волн, формирующихся в пограничном слое при ветрах, набегающих на оазис с севера.



# Лабораторное исследование фотохимических процессов, протекающих с участием частиц полярных мезосферных облаков

М.Ю. Куликов

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Известно, что вода является одним из ключевых химических соединений мезосферы. Во-первых, процесс фотодиссоциации молекул  $\text{H}_2\text{O}$ , находящихся в газовой фазе (пар), является основным источником для семейства нечетного водорода ( $\text{HO}_x = \text{H} + \text{OH} + \text{HO}_2$ ). В свою очередь, газофазные реакции с участием этих компонент обеспечивают основной сток для компонент семейства нечетного кислорода ( $\text{O}_x = \text{O}({}^1\text{D}) + \text{O}_3 + \text{O}$ ). Поэтому, чем выше концентрация  $\text{H}_2\text{O}$ , тем ниже оказывается дневная концентрация  $\text{O}_x$ , и наоборот. Во-вторых, при низких температурах (примерно 130–150 К) на высотах мезопаузы (80–90 км) происходит формирование самых высотных облаков на Земле — так называемых полярных мезосферных облаков (ПМО), чьи частицы состоят преимущественно из льда и образуются путем конденсации водяного пара. Еще недавно было принято считать, что молекулы  $\text{H}_2\text{O}$ , покидающие газовую фазу, «выключаются» из процессов фотолиза, так что после формирования облаков концентрация  $\text{HO}_x$  заметно уменьшается, а концентрация  $\text{O}_x$  соответственно возрастает. Однако, ракетные измерения концентрации  $\text{O}$ , проведенные в рамках нескольких международных кампаний по изучению ПМО, выявили *истощение* концентрации  $\text{O}$  в присутствии облаков. Для объяснения данного эффекта в работе [1] было предположено, что причиной уменьшения концентрации  $\text{O}$  могут быть не учитываемые ранее процессы фотолиза молекул  $\text{H}_2\text{O}$ , содержащихся в твердой фазе. Однако, для своих модельных оценок Murray и Plane использовали заведомо огрубленную параметризацию фотохимии с участием ПСО, в соответствии с которой каждый квант света, попадающий в частицу облаков, приводит к появлению пары атомов  $\text{H}$  и  $\text{OH}$ , которые практически мгновенно выходят в газовую фазу. Поэтому авторы данной работы указали на необходимость проведения лабораторного моделирования указанных процессов, отвечающего реальным условиям верхней мезосферы.

Данная работа является первой попыткой проведения такого моделирования. В докладе обсуждаются основные физико-химические процессы, запускаемые солнечной радиацией внутри льда, а так же проводится описание лабораторного комплекса и выполняемых экспериментов.

## Литература

1. Murray B.J., Plane J.M.C. Atomic oxygen depletion in the vicinity of noctilucent clouds, *Adv. Space Res.*, 31(9), pp. 2075-2084, 2003.

## **Исследование турбулентных пульсаций компонент скорости ветра на опустыненной территории в эксперименте «Харабали 2007»**

*Г.И.Горчаков<sup>1</sup>, А.В.Карпов<sup>1</sup>, Г.А.Курбатов<sup>2</sup>, В.П.Юшков<sup>2</sup>*

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

<sup>2</sup> Физический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва

В связи с исследованием процесса выноса аэрозоля с подстилающей поверхности на опустыненных территориях в августе 2007 г. на территории заказника «Пески Берли» (Астраханская обл.) были выполнены измерения турбулентных пульсаций трех компонент скорости ветра и температуры воздуха. Измерения проводились на высоте 2 м с помощью акустических метеостанций «Метео-2м» (Институт оптики атмосферы СО РАН) и Metek.

Проанализированы вариации модуля горизонтальной компоненты скорости ветра. Построены эмпирические функции распределения скорости ветра. Изучена структура порывов ветра.

Для разных периодов суток рассчитаны основные параметры турбулентности [1]: динамическая скорость, турбулентный поток тепла и масштаб Монина-Обухова.

Выполнен спектральный анализ пульсаций компонент скорости ветра и температуры воздуха.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 07-05-01080а, 07-05-10080к и 07-05-13610-офи\_ц).

### **Литература**

1. *Обухов А.М.* Турбулентность и динамика атмосферы. Л.: Гидрометеоздат, 1988. 413с.

## **Построение параметризованных моделей стохастических систем по временным рядам и прогноз их качественного поведения**

*Е.М.Лоскутов, Я.И.Мольков, Д.Н.Мухин, А.М.Фейгин*  
Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

В данной работе формулируется и реализуется, с помощью искусственных нейронных сетей, последовательный Байесов подход к моделированию стохастических (случайных) динамических систем по временным рядам. На модельных примерах демонстрируется возможности такого подхода как для создания моделей, адекватно воспроизводящих наблюдаемую стационарную эволюцию системы, так и для построения прогноза изменения качественного поведения слабонеавтономной стохастической системы. Показывается, что некоторые принципиальные ограничения, возникающие в случае детерминированных систем, могут быть существенно ослаблены в стохастическом случае. В частности, демонстрируется успешный прогноз усложнения поведения системы по сравнению с наблюдаемым, принципиально невозможный для детерминированных динамических систем.

## **Дистанционная акустическая диагностика турбулентных характеристик пограничного слоя атмосферы**

*А.Э.Макиенко*

Институт оптики атмосферы СО РАН, Томск

Турбулентное перемешивание в пограничном слое атмосферы (ПСА) влияет на различные процессы, в том числе и на состояние аэроэлектрического поля. Данные о скорости и направлении ветра, а также некоторые параметры турбулентности в ПСА могут быть получены с помощью доплеровского содара. В частности, имеется возможность оперативно оценивать на разных высотах средние значения скорости и направления ветра, среднеквадратические отклонения компонентов скорости ветра, их корреляционные и структурные функции, а также другие величины, помогающие в той или иной мере описать текущее состояние ПСА. При этом следует учитывать, что в оценку включаются только те движения, характерные времена изменений которых «медленнее» 1–2 мин. Это связано со «сглаживающими» свойствами содара как по времени (период получения одного высотного профиля — порядка 15 с), так и по пространству («верность» направлений зондирования разными антеннами содара и конечность импульсных рассеивающих объемов). В приземном слое измерение большей части параметров, обуславливающих турбулентное перемешивание, возможно с помощью ультразвуковой метеостанции. При этом временное разрешение ультразвуковой метеостанции существенно выше по сравнению с содаром.

В докладе рассматривается опыт использования доплеровского содара «Волна-4» и ультразвуковой метеостанции «Метео-2» для получения некоторых из перечисленных выше параметров поля скорости ветра и температуры как в приземном, так и в пограничном слое атмосферы. Приводятся результаты обработки нескольких эпизодов с разными метеорологическими условиями в местах измерений и с различной аэрографией.

## **Условия формирования экстремальных значений городского острова тепла в московском мегаполисе**

*М.И.Нахаев, И.Н.Кузнецова*

Гидрометеорологический научно-исследовательский центр России, Москва

Для анализа использованы данные сети наземных метеорологических станций, расположенных на территории Москвы в 2002–2006 гг., а также данные о скорости переноса в пограничном слое и индексы синоптической ситуации. Рассматривались случаи с разностью температуры на станциях  $>5^{\circ}\text{C}$ . Выявлено 263 случая ярко выраженного городского острова тепла (ГОТ).

Рассчитана повторяемость ГОТ ( $>5^{\circ}$ ) в отдельные годы. Установлено, что максимальное развитие ГОТ ( $>8^{\circ}$ ) получает примерно в 10% случаев, половина случаев пришлась на интенсивность ГОТ =  $5^{\circ}\text{C}$ . Значительное влияние на формирование городского острова тепла оказывает скорость ветра, так наибольшее число случаев формирования ГОТ происходит при скоростях переноса на уровне 925 гПа менее 5 м/с. При этом именно при таких скоростях наблюдаются максимальные (более  $9^{\circ}$ ) разности температур. В теплый период года интенсивность ГОТ редко (около 0,4%) превышает  $7^{\circ}\text{C}$ , в холодный сезон повторяемость ГОТ более  $7^{\circ}$  около 45% от общего числа случаев. Наиболее часто интенсивность ГОТ превышает  $5^{\circ}$  на окраине антициклона и в условиях малоградиентного барического поля (суммарная доля таких случаев превышает 50%). В докладе представлены типы синоптических ситуаций и метеорологических условий, при которых ГОТ получает максимальное развитие.

# Исследование антипарникового эффекта методом молекулярно-динамического моделирования атмосферных кластеров

*О.Р.Рахманова, А.Е.Галашев*

Институт промышленной экологии Уральского отделения РАН, Екатеринбург

Водяной пар является главным парниковым газом атмосферы Земли. В традиционном понимании антипарниковый эффект образуется за счет обильного поступления в атмосферу сажевых аэрозольных частиц в результате наземных ядерных испытаний, вулканической деятельности, транспортных выбросов и космической пыли, образующейся вследствие воздействия астероидов и прочих малых космических тел на атмосферу Земли. Однако не берется во внимание процесс саморегуляции состава атмосферы за счет образования кластеров воды и последующего захвата ими молекул парниковых газов.

В настоящей работе методом молекулярной динамики изучено поглощение водными кластерами молекул парниковых газов, таких как  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , и углеводородов  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ , также оказывающих влияние на парниковый эффект. Рассчитаны спектры поглощения и отражения системами кластеров поступающего ИК излучения, а также спектры мощности рассеяния запасенной энергии. Поглощение дисперсной водной системой ИК-излучения незначительно усиливается в результате адсорбции молекул  $\text{N}_2\text{O}$  и ослабляется после адсорбции молекул  $\text{CO}_2$ . Легко поляризуемые молекулы ацетилен и этана, находясь в кластерах воды, слабо усиливают поглощение ИК-излучения, а молекулы метана существенно ослабляют его. В случае поглощения молекул метана наблюдается окно прозрачности для ИК-излучения. Как правило, поглощение парниковых газов вызывает увеличение коэффициента отражения  $R$  монохроматического инфракрасного излучения. Наиболее медленно диссипируется энергия кластерами «чистой» воды. Мощность излучения энергии увеличивается после присоединения к водным агрегатам молекул  $\text{N}_2\text{O}$ , и ослабевает в случае адсорбции молекул  $\text{CO}_2$ . Добавление к кластерам воды молекул  $\text{CH}_4$  усиливает скорость рассеяния запасенной энергии. В случае присоединения молекул  $\text{C}_2\text{H}_2$  она резко возрастает и существенно снижается после адсорбции молекул  $\text{C}_2\text{H}_6$ .

Процесс кластеризации сопровождается резким уменьшением числа рассеивающих центров. Усиление интегрального поглощения для дисперсных водных систем, содержащих  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ , не может компенсировать эти потери. В целом адсорбция дисперсной водной системой парниковых газов вызывает антипарниковый эффект.

## Результаты сравнения потоков УФР, измеренных спектрометром УФОС и рассчитанных с помощью численной модели «libRadTran»

*А.А.Соломатникова<sup>1</sup>, В.А.Зубов<sup>2</sup>, А.М.Шаламянский<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Научный исследовательский центр дистанционного зондирования атмосферы ГГО, Воейково

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

С 2003 года в филиале ГГО НИЦ ДЗА проходят тестирование и рабочую проверку экспериментальные образцы ультрафиолетового озонового спектрометра (УФОС) в зенитной и обсерваторской модификациях. Прибор предназначен для комплексных измерений спектрального состава ультрафиолетовой радиации (УФР) и общего содержания озона.

В 2007 году на одном из компьютеров НИЦ ДЗА ГГО была установлена современная численная модель переноса излучения в атмосфере Земли «libRadTran» (Library for Radiative Transfer). Модель позволяет рассчитывать спектральные и угловые характеристики солнечной радиации с учетом основных оптических свойств атмосферы и подстилающей поверхности. Код «libRadTran» находится в свободном доступе и рекомендован Всемирной метеорологической организацией для поддержки работы наземных сетей мониторинга УФР.

Спектральные потоки УФ радиации, измеренные с помощью УФОС при различных зенитных углах Солнца, сравнивались с соответствующими потоками, рассчитанными по модели «libRadTran».

Приведены предварительные результаты сравнения для измерений, выполненных на станциях в г. Мурманске, г. Цимлянске, п. Воейково и на высокогорной станции «Шаджатмаз» (ИФА РАН).

## **Использование фотохимической модели RACM для оценки концентрации озона в атмосфере и сравнения с экспериментальными значениями**

*И.И.Тимковский, О.В.Лаврова, Н.Ф.Еланский*  
Институт физики атмосферы им. Обухова РАН, Москва

В настоящее время проблемы загрязнения окружающей среды и, в частности, атмосферы все больше выходят на первый план. Контроль состояния атмосферы в приповерхностном слое над Россией необходим по многочисленным причинам. Целью данной работы является оценка во времени концентрации летучих органических соединений и озона в атмосфере по данным международного эксперимента TROICA. Были проведены расчеты с использованием фотохимической модели (RACM), позволяющей по начальным значениям концентраций компонентов атмосферы определять их значения по прошествии заданного промежутка времени.



## **Использование данных мезомасштабных моделей в прогнозе метеорологических условий загрязнения воздуха**

*И.Ю.Шалыгина<sup>1</sup>, Е.А.Лезина<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Гидрометеорологический научно-исследовательский центр России, Москва

<sup>2</sup> ГПУ «Мосэкомониторинг», Москва

Своевременное предсказание наиболее опасных экологических ситуаций в мегаполисе, связанных с высоким уровнем загрязняющих примесей и обусловленных комплексом неблагоприятных метеорологических условий, является одной из актуальных задач мониторинга качества воздуха.

Данные непрерывных измерений загрязнения и данные мезомасштабных моделей с высоким временным и пространственным разрешением полей метеорологических элементов позволяют детально изучать сезонную и внутрисуточную динамику уровня загрязнения и его взаимосвязь с атмосферными процессами разного временного масштаба.

Нами на основе данных автоматизированной сети контроля загрязнения (АСКЗА) «Мосэкомониторинг» в г. Москве и данных мезомасштабной модели WRF показаны взаимосвязи уровня концентраций CO, NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> с уже известными метеорологическими характеристиками, такими как скорость ветра в пограничном слое, температурный градиент, и с новыми, не использовавшимися ранее, характеристиками – вертикальная скорость и турбулентная кинетическая энергия на разных высотах и др.. На основе данных модели был установлен комплекс метеорологических параметров, обуславливающих условия ослабленного рассеивания загрязнения и благоприятных для формирования высокого уровня концентраций загрязняющих примесей в г. Москве.

Разрабатываемый подход дает возможность оценивать условия рассеивания – накопления загрязнения на более длительный срок и возможность корректировать прогноз при неблагоприятных метеорологических условиях в оперативном режиме.

## **Использование данных регионального реанализа для трекинга циклонов**

*С.В.Шувалов, О.Г.Золина*

Институт океанологии РАН им. П.П.Ширшова, Москва

В последние десятилетия наблюдается значительное увеличение количества и интенсивности экстремально сильных осадков на Европейском континенте. В течение последних 100 лет практически на всей территории Европы, в том числе и на европейской территории России, наблюдается мощный положительный тренд значений экстремальных осадков, составляющий 3–5% в десятилетие.

Увеличение интенсивности осадков имеет серьёзные социальные последствия. Зимой экстремально сильные осадки могут приводить как к наводнениям (разлив рек в Центральной части России в декабре 2006 года), так и к снегопадам, вызывающим большие проблемы с электроснабжением, с движением на дорогах и пр. Резко повышается потребление энергии. Прогноз осадков приобретает приоритетное значение.

В работе устанавливаются связи аномалий осадков с характеристиками циклонической активности и параметрами крупномасштабной циркуляции, а также путями перемещения циклонов. Использована новейшая методика автоматической обработки путей перемещения циклонов (трекинг).

Данные трекинга циклонов, произведённого по барическим полям нового регионального Североамериканского реанализа NARR, хорошо отражают интенсивный вихревой перенос воздушных масс с Северной Атлантики в Европу и выделяют основные закономерности в путях их перемещения и в их трансформации. Проявляется влияние подстилающей поверхности и рельефа на траектории циклонов и регенерацию.

Региональный реанализ позволяет более точно выявлять недолгоживущие, а также небольшие в диаметре циклоны, т.к. располагает полями давления с большей дискретностью по времени (3 часа) и по пространству (32 км) (сравнительно с результатами трекинга по данным глобального реанализа NCEP/NCAR). Выявляется активная генерация глубоких циклонов с давлением в центре менее 980 гПа в холодный период в зоне Исландского и Алеутского минимумов, а также большое количество неглубоких ( $P > 1000$  гПа в центре) циклонов — в большинстве случаев термические депрессии.

Таким образом, увеличение дискретности временного и пространственного шага, а также шага по высоте повышает точность выявления путей перемещения циклонов, что способствует успешному решению задачи установления связи аномалий осадков с путями перемещения циклонов и другими параметрами циклонической активности.

## Высота обращения ветра в Москве и её динамика по данным акустического зондирования

*Е.А.Являева, М.А.Локощенко*

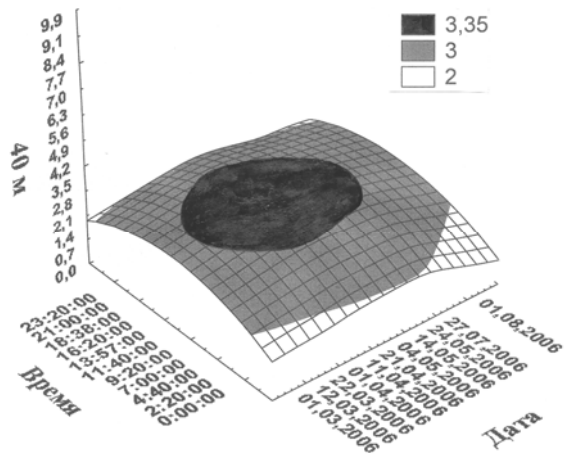
Географический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва

В Метеорологической обсерватории МГУ с 2004 года в постоянном режиме осуществляется акустическое зондирование атмосферы с помощью доплеровского акустического локатора (содара) марки «MODOS» фирмы МЕТЕК (Германия). Это — пока единственный в России серийный и сертифицированный содар. Рабочая частота — 2000 Гц, диапазон зондирования составляет от 40 до 500 м, вертикальное разрешение данных — 20 м, профили ветра измеряются в среднем за каждые 10 минут.

Как известно, скорость ветра  $V$  вблизи земной поверхности в дневные часы выше, чем ночью. Начиная же с некоторой высоты — так называемой «высоты обращения» — значения  $V$  днём в вышележащем слое, наоборот, оказываются ниже, чем ночью. Данная высота служит важным показателем структуры атмосферного пограничного слоя, поскольку на этом уровне суточный ход скорости ветра в среднем отсутствует. Содарные данные благодаря их исключительно высокому разрешению впервые позволили количественно оценить высоту обращения ветра для условий Москвы. Для её наглядного выявления были построены трёхмерные поверхности сводных значений  $V$  для разных высотных уровней (рис. 1), на каждом из которых по горизонтали отложены дата (месяцы года) и время (часы суток), а по вертикали — скорость ветра (м/с). В качестве примера здесь рассмотрены данные за период с марта по август 2006 г. На фрагменте (а) отчётливо видно, что поверхность на самом нижнем уровне 40 м имеет вид купола: дневные значения  $V$  существенно выше, чем ночные. Видно также, что в середине тёплого сезона скорость ветра здесь в среднем больше, чем в начале весны и в конце лета (наибольшие значения  $V > 3,4$  м/с образуют замкнутую область, а наименьшие значения  $V < 2$  м/с выклиниваются). На следующих двух уровнях 60 и 80 м (здесь не показаны) поверхности значений  $V$  в этих координатах не изогнуты и представляют собой ровные плоскости. Это означает, что  $V$  здесь одинакова в любое время суток, так что промежуток от 60 до 80 м характеризует весной и летом в Москве среднюю высоту обращения ветра. На более высоких уровнях, начиная со 100 м и выше, скорость ветра, напротив, становится днём меньше, чем ночью: поверхность значений  $V$  на уровне 120 м на фрагменте (б) направлена уже выпуклостью вниз. По мере дальнейшего увеличения высоты амплитуда суточного хода  $V$  последовательно растёт в пределах диапазона зондирования.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 07-05-00874.

а) Уровень 40 м.



б) Уровень 120 м.

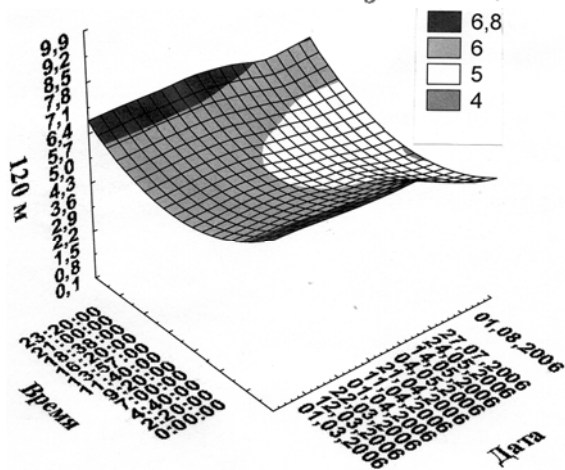


Рис. 1. Суточный ход скорости ветра в разные месяцы года в Москве (МГУ) по содарным данным на разных высотах. Цветами в чёрно-белой палитре показаны диапазоны средних значений скорости ветра в м/с (шкалы — вверх справа).