

МСАР- 4

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ
СТРАН СНГ**

**АТМОСФЕРНАЯ
РАДИАЦИЯ
2004**

Сборник тезисов

**Санкт - Петербург
2004**

**МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

САНКТ - ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



**МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ
СТРАН СНГ
«АТМОСФЕРНАЯ РАДИАЦИЯ»
(МСАР - 4)**

22 - 25 июня 2002 г., г. Санкт - Петербург

Сборник тезисов

Санкт - Петербург

2004

СИМПОЗИУМ ПРОВОДИТСЯ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:



Российского фонда
фундаментальных исследований

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

Программа ARM и российское участие в ней

Голицын Г.С. ([mail_adm@ifaran.ru](mailto:adm@ifaran.ru)), Мохов И.И., Свириденков М.А.
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер 3, 119017 Москва, Россия

Панченко М.В.
Институт оптики атмосферы СО РАН, пр. Академический 1, 634055 Томск, Россия

Кадыгров Е.Н.
Центральная аэрологическая обсерватория Росгидромета, Первомайская 3, 141700 Долгопрудный, Моск. обл., Россия

Цель программы ARM (Atmospheric Radiation Measurement) – уменьшение неопределенности в описании взаимодействия солнечной и тепловой радиации с облачностью и аэрозолем в моделях климата и его изменений путем выработки соответствующих параметризаций. В России исследования в рамках программы ARM проводятся в Институте физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Институте оптики атмосферы СО РАН и Центральной аэрологической обсерватории.

В докладе приведено описание измерительных комплексов, режимов их работы, методов обработки и интерпретации результатов измерений.

Мониторинг атмосферного аэрозоля дистанционными методами в Беларуси и Европе

Иванов А.П. (ivanovap@dragon.bas-net.by)
Институт физики им. Б.И. Степанова НАНБ, Скорина 68, 220072 Минск, Белоруссия

Природные явления и катастрофы, техногенные нагрузки приводят к изменениям условий на Земле, ощутимым на протяжении жизни одного поколения. С развитием технического потенциала человечества предотвращение загрязнения атмосферы стало обязательной частью природоохранной деятельности абсолютного большинства государств. Уровень сегодняшних требований к системе контроля состояния атмосферы подразумевает не только предоставление информации о концентрациях отдельных компонентов в отдельных точках, но и всестороннее и количественное описание процессов выбросов и образования в атмосфере загрязняющих веществ на больших пространствах, их трансформации, переноса и удаления. Для решения таких задач необходима оперативная информация о состоянии всего слоя атмосферы по большому пространству. Получить ее можно только дистанционными методами. Лазерные локационные системы (лидары) и пассивные оптические системы, основанные на регистрации рассеянного атмосферой солнечного излучения, соответствуют специфике данных задач и все в большей степени становятся частью систем мониторинга атмосферы.

В 2000 г. создана Европейская лидарная сеть, объединившая 22 ведущих центра из 11 Европейских стран. Одним из организаторов сети является ИФ. В сотрудничестве с ведущими в этой области научными центрами России и стран СНГ по инициативе ИФ готовится проект лидарной сети СНГ.

В 2002 г. совместно с Goddard Space Flight Center (NASA, USA) и Universite de Lille (France) создан пост радиометрических измерений на основе сканирующего солнечного радиометра CIMEL, включенный в состав глобальной международной сети AERONET. CIMEL измеряет спектральную прозрачность атмосферы и структуру аэрозоля.

Указанный комплекс позволяет осуществлять мониторинг параметров аэрозольного и озонового слоя в регионе Беларуси и анализировать аномальные явления в атмосфере,

возникающие вследствие крупномасштабных процессов межрегионального переноса загрязнений на Евразийском континенте.

Было установлено, что Восточная Европа регулярно подвергается мощным выносам песка из пустыни Сахара и Аравийского полуострова. Концентрация аэрозоля в такие моменты на высотах 5–10 км возрастает в десятки раз.

Летом 2002 г. в России и Беларуси были пожары, охватившие большие территории. Лидарные и радиометрические измерения показали, что смог в первой половине августа в г. Минск развивался постепенно и достиг своего максимума 11, 12 августа. Оптическая плотность атмосферы над городом равнялась трем на длине волны 440 нм. Слой аэрозольного загрязнения имел толщину порядка 2 км. Значительную часть объема занимали частицы порядка 0,2 мкм. Это свидетельствовало о том, что пожары были в стадии тления при отсутствии открытых очагов пламени. 11 и 12 августа произошло резкое очищение атмосферы и уменьшение оптической плотности до фоновой величины порядка 0.1. Траектории ветров за 72 часовой период показывали, что смог был порожден в Беларуси, а 11 и 12 августа пришли чистые ветры с Ледовитого океана и вытеснили замутненные слои воздуха.

В заключение приведены примеры контроля трансграничного переноса ряда компонент атмосферы в Европе.

Математическое моделирование на суперкомпьютерах переноса излучения для трехмерных моделей атмосферы

Гермогенова Т.А. (germ@kiam.ru), Басс Л.П., Николаева О.В.

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Миусская пл. 4, 125047 Москва, Россия

Кузнецов В.С.

ФГУ РНЦ "КИ" Институт ядерных реакторов, пл. Курчатова 1, 123182 Москва, Россия

В последние годы исследования атмосферной радиации становятся все более актуальными в связи с задачами экологии и климата. Однако используются, как правило, одномерные модели переноса излучения и их комбинации, во многих случаях не обеспечивающие одновременно необходимых полноты, точности и оперативности восстановления характеристик атмосферы. Более точные двумерные и трехмерные модели с использованием как статистических методов, так и численных методов решения уравнения переноса на современных Персональных Компьютерах (ПК) оказываются слишком трудоемкими.

Значительный прогресс в этом направлении обещает развитие суперкомпьютерной техники с параллельной архитектурой. Производительность отечественного СуперКомпьютера (СК) МВС-1000М на несколько порядков превышает возможности лучших ПК, достигая значений 10^{12} – 10^{13} операций в секунду. Сейчас в России используется около 30 таких СК, установленных в крупных научных центрах, и существенной проблемой является разработка программного обеспечения для решения крупных научных и технических проблем.

Программа РАДУГА-5.1(П) и ее вариант РАДУГА-5.1 – для ПК созданы с целью численного моделирования на СК стационарных радиационных полей различной природы в средах больших оптических размеров, сложной структуры с сингулярными источниками, сильной анизотропией рассеяния [1].

Привлекается широкий набор 1D-, 2D- и 3D- геометрических моделей. В дискретизации уравнения переноса используются консервативные положительные схемы, отработанные на широком классе задач. Значительное ускорение сходимости итерационных процессов для оптически плотных сред достигается реализацией современных эффективных алгоритмов решения больших систем алгебраических уравнений.

В качестве первой нами была рассмотрена задача об отражающих свойствах двумерного горизонтально неоднородного слоя, левая половина которого отвечает аэрозолю ($\tau_a^* = 1.2$), а правая – облаку ($\tau_o^* = 30$) с индикатрисами рассеяния Хеньи-Гринштейна и C_1 соответственно (параметры анизотропии $\omega_{a1} = 0.7$ и $\omega_{o1} \cong 0.85$ для длины волны $\lambda = 412 \text{ nm}$). Эта модель соответствует облачному (грозовому) фронту. Основными целями расчетов были верификация программы РАДУГА-5.1(П) и далее исследование радиационных режимов во внутреннем пограничном слое у поверхности раздела аэрозоля и облака.

В этой задаче использовались пространственная сетка 338×352 ячеек и угловая сетка S_{50} с 1300 узлами. Проведен анализ результатов расчетов ~ 100 вариантов, отвечающих различным положениям Солнца. В каждом расчете использовалось 64 процессора. Среднее время расчета одного варианта $\sim 50'$, а общий объем полученной информации для каждого варианта равен $338 \times 352 \times 1300 \approx 1.5 \cdot 10^8$ чисел.

Сравнениями с расчетами этой задачи методом Монте-Карло (программа MYSTIC [2]) и одномерными результатами для соответствующих одномерных облачной и аэрозольной задач [3] установлена высокая точность наших сеточных расчетов (отклонения значений отраженной в зенит радиации не превышают 1% [4]).

Особое внимание уделено изучению в зависимости от положения Солнца радиационных режимов во внутреннем пограничном слое, где детально исследованы эффекты затенения аэрозоля, осветления края облака и др. Установлено, что влияние разрыва свойств среды на яркость отраженного излучения простирается на значительное расстояние (до 25 км в аэрозоле и до 10 км – в облаке), что значительно ограничивает область применимости одномерных моделей.

Таким образом, несмотря на сравнительную простоту рассмотренной задачи, эти расчеты позволили оценить эффективность реализованных алгоритмов распараллеливания счета, а также их точность при описании физических эффектов, характерных для окрестности разрыва оптических свойств среды.

Расчетные результаты для этой базовой проблемы будут размещены в общедоступном Internet-Банке тестовых задач (<http://rts.kiam.ru/verval/>). В настоящее время Банк содержит расчетный аппарат, а также конкретные результаты, определяющие асимптотические радиационные характеристики для одномерных оптически плотных слоев. Все эти материалы могут быть использованы в верификации и отработке различных приближенных методов решения задач оптики атмосферы.

Нами начаты работы по дальнейшему развитию численных алгоритмов в задачах с сильной анизотропией рассеяния, в задачах о поляризованном излучении. Существенное значение для практического использования программы РАДУГА-5.1(П) в решении сложных задач атмосферной оптики имеет реализация удобного доступа к информации о физических характеристиках аэрозольной и облачной составляющих атмосферы, а также альбедных характеристиках подстилающих поверхностей и реализация алгоритмов препроцессоров и постпроцессоров, обеспечивающих интерактивный ввод входных данных и обработку полученной информации.

В дальнейшем предполагается распространение развиваемых алгоритмов и программного аппарата на задачи с более сложной сферической геометрией, на нестационарные задачи, использование аппарата теории возмущений в решении задач со сложной структурой атмосферы, в частности с разорванной облачностью, в решении обратных задач.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проекты 01–01–00570 и 04–01–00404).

1. Басс Л.П., Гермогенова Т.А., Кузнецов В.С., Николаева О.В. Радуга-5.1 и Радуга-5.1(П) – программы для решения стационарного уравнения переноса в 2-х и 3-х мерных геометриях на одно- и многопроцессорных

ЭВМ. Сборник докладов семинара "Алгоритмы и программы для нейтронно-физических расчетов ядерных реакторов (Нейтроника-2001)". 30 октября–2 ноября 2001. Обнинск. В печати.

2. Mayer B. I3RC phase 1 results from the MYSTIC Monte Carlo model. I3RC workshop, Tucson, Arizona, November 17–19, 1999.
3. Averin A.V., Voloschenko A.M., et al. The ROZ-6.4 One-Dimensional Discrete Ordinates Neutrons, Gamma-Rays and Charged Particles Transport Code. Proc. Int. Top. Meeting "Advances Mathematics, Computations and Reactor Physics". Pittsburg, USA. 1991, 5, 30.3.5-1–30.3.5-4.
4. Nikolaeva O.V., Bass L.P., Germogenova T.A., Kokhanovsky A.A., Kuznetsov V.S., Mayer B. The influence of neighbouring clouds on the clear sky reflectance studied with the 3-D transport code RADUGA. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* (to be published).

Актинометрическая сеть России: состояние, анализ и использование данных наблюдений, перспективы развития

Махоткина Е.Л. (makhotk@main.mgo.rssi.ru), Луцько Л.В.

Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова (ГГО) с начала XX века является центром российских актинометрических исследований. В 1912 г. в Павловской магнитно-метеорологической обсерватории была организована непрерывная регистрация основных составляющих радиационного баланса: прямой, суммарной, рассеянной и эффективной радиации. Позднее (в 1924 г.) в ГГО под руководством Н.Н. Калитина было образовано специальное актинометрическое отделение, которое руководило исследованиями по актинометрии, проводимыми в СССР.

В настоящее время ГГО является научно-исследовательским и научно-методическим центром Росгидромета по руководству актинометрическими наблюдениями, в функции которого входит планирование сети; разработка методик выполнения наблюдений; контроль за техническим обеспечением и техническим состоянием приборов; сбор, контроль, архивация и хранение получаемой на сети актинометрической информации; инспектирование станций; подготовке кадров для сети.

В период после 1992 г. актинометрическая сеть претерпела значительные изменения как в количественном, так и в качественном отношении.

По данным на 1 января 2004 г. актинометрическая сеть Росгидромета насчитывает 187 пунктов наблюдений, что на 6 пунктов меньше, чем в 2003 г. По сравнению с 1991 г. актинометрическая сеть России сократилась более чем на 30% (количество станций, работающих по полной программе уменьшилось на 15%, по сокращенной – на 50%).

Функционирующий в ГГО режимно-справочный банк данных (РСБД) "Актинометрия", формирование которого было начато в конце 1980-х годов, состоит из трех базовых архивов – "Срочные наблюдения", "Регистрация", "Интегрирование" – и ряда сформированных на их основе вспомогательных архивов. Базовые архивы содержат информацию с 1976 г. и постоянно пополняются данными текущих наблюдений.

Выполненные в последние годы работы по совершенствованию РСБД были направлены на создание комплекса программ, позволяющих расширить возможности для использования актинометрической информации в научных и прикладных исследованиях. При этом для работы с архивами подготовлены и реализованы пакеты программ, позволяющие на основе верифицированных архивов выполнять конвертацию одного типа файлов в другой, осуществлять расчеты по заданному алгоритму (например, расчета суточного хода альбедо), представлять результаты в графической форме.

С использованием архивной информации РСБД "Актинометрия" в ГГО в последние годы проведены работы как методического, так и исследовательского характера. Так, удалось уточнить методику восстановления месячных сумм прямой солнечной радиации при наличии наблюдений только за суммарной и рассеянной радиацией.

На основе анализа результатов сравнения измеренных месячных сумм суммарной радиации с рассчитанными по шести формулам – Альбрехта, Альбрехта-Аверкиева, Берлянд,

Сивкова, Барашковой, Сивкова-Барашковой, – установлено, что не существует единой универсальной расчетной формулы, которая давала бы хороший результат на всей территории России при всех метеорологических условиях. При этом были определены оптимальные формулы для различных широтных зон в различные периоды года.

На основе архивных данных об ежечасных и среднемесечных значениях альбедо получены данные о межгодовой изменчивости альбедо, проведена типизация годового хода альбедо, выявлены долговременные тенденции в изменениях климатических рядов альбедо. При этом, несмотря на определенные расхождения в годовом ходе трендов альбедо, по данным за 1976–1995 гг. установлено, что для альбедо характерна существенная межгодовая изменчивость; пространственное распределение трендов альбедо показывает достаточно сложную картину локализации районов с более или менее выраженными линейными трендами во временных рядах альбедо.

Анализ тенденций изменения прозрачности атмосферы на территории России в последней четверти XX века показал, что в указанный период характер пространственного распределения и внутригодового хода мутности атмосферы не претерпел существенных изменений по сравнению с предыдущим 25-летьем.

Во временных рядах мутности были выявлены и количественно оценены периоды стабильных ("невозмущенных") состояний, когда атмосфера была относительно прозрачной: 1976–1981 гг., 1985–1990 гг., 1994–2002 гг., причем последний период еще не закончился. Установлено, что в период с 1994 г. по 2002 г. уменьшение мутности (среднегодовых значений T_2 относительно средних за период 1976–1995 гг.) в различных регионах территории России составило от 8 до 12%. Этот период характеризуется самой высокой прозрачностью атмосферы, отмечавшейся на территории России в последней четверти XX века.

Поскольку солнечная радиация является важнейшим климатообразующим фактором, исследования временных и пространственных изменений составляющих радиационного баланса становится обязательной частью мониторинга климата. В этой связи расширение возможностей РСБД "Актинометрия" является весьма актуальной задачей.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 02-05-64757, № 03-05-64441).

Моделирование изменения климата при удвоении содержания углекислого газа с помощью совместной модели общей циркуляции атмосферы и океана

Володин Е.М. (volodin@inm.ras.ru)

Институт вычислительной математики РАН, Губкина 8, 119991 Москва, Россия ГСП-1 ул. ИВМ РАН

Рассматривается чувствительность модели общей циркуляции атмосферы (ОЦА) и океана к удвоению содержания углекислого газа. Результаты сравниваются с данными эксперимента с моделью ОЦА и 50-метровым слоем океана, а также с данными модели ОЦА с заданным годовым ходом температуры поверхности океана (ТПО) и распределения морского льда.

Глобально осредненный радиационный форсинг от удвоения CO_2 на верхней границе атмосферы составляет около 4 Вт/м^2 . На поверхности Земли радиационный форсинг в среднем не превышает 1 Вт/м^2 . Его значение на поверхности максимально в районах с малооблачным небом.

Величина глобально осредненного повышения температуры поверхности в модели ОЦА с полным океаном при росте CO_2 со скоростью 1% в год составляет 1.0 градуса. Для модели ОЦА с 50-метровым слоем океана, в которой термическая инерция океана меньше, чем в полной модели, величина глобального потепления на поверхности составляет 2.0 градуса. В модели ОЦА с фиксированной ТПО величина глобального потепления составляет около 0.3 градуса.

Выхолаживание стратосферы при удвоении CO_2 во всех трех рассматриваемых моделях практически одинаково и достигает 7 градусов на высоте 10 гПа. Неравномерность выхолаживания стратосферы приводит к возбуждению отклика в скорости зонального ветра, который можно характеризовать как увеличение скорости западного ветра в стратосфере умеренных широт на 2–3 м/с, которое частично распространяется и в тропосферу.

Приповерхностное потепление максимально в высоких и средних широтах над континентами в холодное время года. Летом потепление в высоких широтах меньше, чем в субтропиках, что связано с большим радиационным форсингом на поверхности в субтропиках.

Сравнение величины глобального потепления в 18 моделях, участвовавших в международной программе по сравнению совместных моделей атмосферы и океана CMIP, показывает, что величина потепления при удвоении CO_2 изменяется в этих моделях от 0.75 до 3.77 градуса. Величина потепления зависит в первую очередь, по-видимому, от способа учета подынверсионной облачности в радиационном блоке атмосферной модели.

Зондирование атмосферы при нарушениях ЛТР (опыт космического эксперимента CRISTA-1)

Косцов В.С. (vlad@troll.phys.spbu.ru), Тимофеев Ю.М.

НИИ физики Санкт-Петербургского гос. университета, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Для исследования параметров средней и верхней атмосферы интенсивно используются космические измерения уходящего излучения в инфракрасном (ИК) диапазоне спектра. Интерпретация таких измерений осложняется наличием эффекта нарушения локального термодинамического равновесия (ЛТР): в силу процессов различного рода населенности колебательных состояний молекул атмосферных газов отличаются от больцмановских.

Для решения обратных задач дистанционного зондирования атмосферы в условиях нарушения ЛТР используются различные методы. Первый из них заключается в выборе спектральных микроокон, где эффектом нарушения ЛТР можно пренебречь без существенной потери точности. Второй метод использует модельные расчеты неравновесной населенности колебательных состояний в качестве априорной информации. Третий метод заключается в одновременном определении температуры, газового состава и неравновесных населенностей колебательных состояний. Он позволяет извлечь максимум информации из экспериментальных данных, однако в этом случае необходимы измерения высокого или среднего спектрального разрешения в широкой спектральной области, содержащей линии различных колебательных переходов. Этот метод был использован при интерпретации спектров, зарегистрированных аппаратурой CRISTA в полосах поглощения углекислого газа 15 мкм и озона 9.6 мкм. Были получены профили кинетической температуры в диапазоне высот 40–120 км, содержания углекислого газа и озона (40–90 км), а также профили колебательных температур (населенностей) нижних колебательных состояний молекул углекислого газа и озона.

Обсуждается космический эксперимент с аппаратурой CRISTA-1, общая постановка задачи, метод решения, используемые ограничения и оценки погрешностей восстановления параметров. Приведены примеры восстановленных профилей и глобальные поля различных атмосферных параметров, их сопоставления с модельными данными и теоретическими расчетами. Анализируются эффекты нарушений ЛТР для различных возбужденных уровней, характеристики мезосферных температурных инверсий, изменчивость содержания CO_2 и O_3 .

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (код проекта 03-05-64830) и гранта УР.01.01.044. (Университеты России).

**Микроволновая поляриметрическая диагностика фазового состава и
микроструктуры облаков**

Троицкий А.В., Ошарин А.М. (osh@nirfi.sci-nnov.ru)

Научно-исследовательский радиофизический институт, Б. Печерская 25, 603950 Нижний Новгород, Россия

Дистанционная диагностика фазового состава и микроструктуры облаков основана на явлении поляризации теплового микроволнового излучения облачной атмосферы. Факт поляризации микроволнового излучения кристаллических и смешанных облаков был экспериментально обнаружен в [1]. Наблюдаемое явление поляризации микроволнового излучения облачной атмосферы интерпретируется эффектами рассеяния микроволнового излучения на ледяных облачных кристаллах различной формы и ориентации. Метод дистанционной диагностики микроструктуры облаков предполагает одновременные измерения первого и второго параметров Стокса излучения на двух длинах волн миллиметрового диапазона в окнах прозрачности атмосферы 3 и 8 мм и решение соответствующей обратной задачи.

Абсолютные значения яркостной температуры облачной атмосферы $T_{\text{я}}$ (первый параметр Стокса) определяется, в основном, тепловым излучением жидких облачных капель, средний размер которых ~ 10 мкм. Вклад рассеянной компоненты излучения, особенно в окне прозрачности 8 мм, пренебрежимо мал и не превосходит единиц процентов от теплового излучения облаков, поэтому длина волны 8 мм может использоваться для определения интегральной водности облаков W по известной методике [2]. В окне прозрачности 3 мм вклад рассеянной компоненты может составлять уже десятки процентов от теплового излучения облаков (особенно зимой) и поэтому для определения водности менее предпочтителен. С другой стороны, экспериментальные и теоретические исследования [3] показали, что величина разности яркостных температур на вертикальной и горизонтальной поляризациях $dT_{\text{я}}$ (второй параметр Стокса) определяется, в основном, содержанием ледяных кристаллов I , их размером D и степенью ориентации B . Непосредственный вклад жидких капель в величину второго параметра Стокса равен нулю, так как микроволновое излучение жидких облаков не поляризовано. Таким образом удаётся разделить переменные.

Теоретически установлено, что зависимость $dT_{\text{я}}$ от содержания кристаллов I является практически линейной $dT_{\text{я}} = A(D)BI$, а коэффициент ориентации B слабо зависит от длины волны. Отношение вторых параметров Стокса на 2-х длинах волн 3 и 8 мм практически не зависит от ледности I и ориентации B , а зависит только от среднего размера кристаллов $\langle D \rangle$: $dT_{\text{я}}(3) / dT_{\text{я}}(8) = A(D,3) / A(D,8) = C(D)$. Зависимость $C(D)$ рассчитывается из теории переноса поляризованного микроволнового излучения в кристаллических и смешанных облаках. Расчёты свидетельствуют о наличии устойчивой к ошибкам измерения связи между отношением $dT_{\text{я}}(3) / dT_{\text{я}}(8)$ и размером D в диапазоне средних размеров кристаллов 50–600 мкм.

В работе приводятся экспериментальные результаты поляриметрической диагностики микроструктуры зимних облаков из измерений первых двух параметров Стокса излучения облачной атмосферы на длинах волн 3 и 8 мм.

1. Троицкий А.В., Ошарин А.М. Поляризация теплового микроволнового излучения облачной атмосферы. *Изв. ВУЗов, Радиофизика*, 2000, **43**, 5, 395–405.

2. Башаринов А.Е., Кутуза Б.Г. Исследование радиоизлучения и поглощения облачной атмосферы в миллиметровом и сантиметровом диапазонах волн. *Труды ГГО*, 1968, вып. 222, 100–110.
3. Troitsky A.V., Osharin A.M., Korolev A.V., Strapp J.W. Polarization of Thermal Microwave Atmospheric Radiation Due to Scattering by Ice Particles in Clouds. *J. Atm. Sci.*, 2003, **60**, 1608–1620.

Поляризационные эффекты при рассеянии теплового микроволнового излучения атмосферы в слое таяния

Троицкий А.В., Востоков А.В., Ошарин А.М. (osh@nirfi.sci-nnov.ru)

Научно-исследовательский радиофизический институт, Б. Печерская 25, 603950 Нижний Новгород, Россия

Явление поляризации теплового микроволнового излучения облачной атмосферы было обнаружено в [1]. Это явление интерпретируется эффектами рассеяния микроволнового излучения на ледяных облачных кристаллах различной формы и ориентации. Выполненные исследования [1, 2] свидетельствуют, что сам эффект является не уникальным, а характерным явлением, по крайней мере, для зимней атмосферы. Вопрос о поляризации микроволнового излучения облачной атмосферы в летних условиях, когда облака находятся преимущественно при положительных температурах и кристаллы либо отсутствуют, либо содержатся в незначительных количествах, оставался открытым.

Исследования поляризации теплового микроволнового излучения летней облачной атмосферы проводились в мае–сентябре 2003 г. в Н.-Новгороде с помощью поляриметрических радиометров на длинах волн 3 и 8 мм на зенитных углах наблюдения 45° и 65°. Измерялись две ортогональные поляризации – вертикальная и горизонтальная (первый параметр Стокса) и их разность (второй параметр Стокса). Так же, как и для зимних условий, летом имеет место значительная поляризация микроволнового излучения облачной атмосферы во всём наблюдаемом интервале приземных температур +10° – +32°. Характерные величины второго параметра Стокса микроволнового излучения составили величины от десятых долей до единиц градусов в яркостной температуре. Имели место как вертикальная, так и горизонтальная поляризации излучения. Существенной особенностью поляризации микроволнового излучения летней облачной атмосферы является не только неожиданно большие величины поляризации, но также два наблюдаемых феномена. Первый – во многих случаях величина поляризации на длине волны 8 мм превосходит или одного порядка с аналогичными и синхронно наблюдаемыми величинами на длине волны 3 мм. Второй – часто имеет место устойчивый эффект разной поляризации излучения на длинах волн 3 и 8 мм. Эти эффекты наблюдались для облаков с большим и с малым водозапасом капельной фракции. Последний случай противоречит экспериментальным и теоретическим результатам, полученным в [2] для зимней атмосферы, которые свидетельствуют о том, что поляризация излучения на 3 мм в 4–6 раз превосходит аналогичное значение на 8 мм для случая малого водозапаса. Наблюдаемые поляризационные эффекты в летней облачной атмосфере как по их величине, так и по спектральным характеристикам не могут быть объяснены рассеянием теплового микроволнового излучения атмосферы на ледяных облачных кристаллах. По всей видимости, основной вклад в поляризацию теплового микроволнового излучения летней облачной атмосферы вносят эффекты рассеяния излучения на обводнённых ледяных кристаллах, находящихся в так называемом слое таяния. Слой таяния располагается в районе нулевой изотермы и имеет вертикальные размеры в несколько сотен метров. Рассеяние микроволнового излучения на обводнённых кристаллических частицах и связанная с ним поляризация излучения существенно отличается от рассеяния на чисто кристаллических частицах. Это отличие заключается в том, что длина волны излучения в обводнённом кристалле, из-за большой диэлектрической проницаемости, становится значительно меньше его размера даже на длине волны падающего излучения $\lambda = 8$ мм. В силу этого факта при рассеянии и поляризации микроволнового излучения значительную роль начинают играть интерференционные

эффекты. Кроме того, начинает сказываться собственное излучение обводнённых кристаллов (для сухих кристаллов собственное излучение пренебрежимо мало). Всё вышесказанное и может приводить к большим значениям поляризации и эффектам превышения величины второго параметра Стокса излучения на $\lambda = 8$ мм относительно $\lambda = 3$ мм для случая малого водосодержания (слабого поглощения).

В работе решена задача распространения поляризованного микроволнового излучения в облаках, содержащих обводнённые кристаллы в слое таяния, на основе векторного уравнения переноса излучения. Полученные оценки на качественном уровне удовлетворительно описывают наблюдаемые поляризационные эффекты.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 03-02-16694).

1. Троицкий А.В., Ошарин А.М. Поляризация теплового микроволнового излучения облачной атмосферы. *Изв. ВУЗов, Радиофизика*, 2000, **43**, 5, 395-405.
2. Троицкий А.В., Ошарин А.М. Исследование поляризационных характеристик теплового микроволнового излучения облачной атмосферы. *Изв. ВУЗов, Радиофизика*, 2001, **44**, 12, 1016-1030.

Обратные задачи термического микроволнового зондирования нижней атмосферы

Ошарина Н.Н., Китай Ш.Д., Троицкий А.В.

Научно-исследовательский радиофизический институт, Б. Печерская 25, 603950 Нижний Новгород, Россия

Кадыгров Е.Н., Миллер Е.А.

Центральная аэрологическая обсерватория, Первомайская 3, 141700 Долгопрудный Моск. обл., Россия

Целью данной работы является разработка и оптимизация различных методов и алгоритмов решения обратных задач микроволнового зондирования температуры нижней атмосферы. Осуществлена адаптация методов обращения к реальному эксперименту по термическому зондированию пограничного слоя атмосферы в полосе поглощения кислорода ~ 5 мм.

Рассматриваемая обратная задача сводится к решению интегрального уравнения Фредгольма I рода, что является некорректной задачей математической физики и требует применения методов регуляризации. В работе исследованы такие методы регуляризации, как метод статистической регуляризации, метод Тихонова, а также модель множественной линейной регрессии, и сделан выбор оптимального для данной задачи метода. Рассмотрены различные способы априорного задания начального приближения и их влияние на точность восстановления профиля температуры: линейный профиль; профиль, полученный путем оптимальной статистической экстраполяции по приземному значению; профиль, основанный на привязке измеренной на определенном зенитном угле яркостной температуры атмосферы к термодинамической температуре на высоте скин-слоя. Анализ показал, что последний способ является наиболее эффективным и универсальным по месту и времени наблюдений, при этом обратная задача остаётся линейной по температуре и достигаются наилучшие точности восстановления.

Проведено численное моделирование эксперимента по радиометрическому зондированию атмосферы на частоте 60 ГГц с использованием данных аэрологического зондирования г. Мурманска (январь–март 2002 г.) и г. Долгопрудного Московской области (июнь–август 2002 г.). Рассмотрены особенности метода регуляризации Тихонова с минимизацией сглаживающего функционала методом проекции сопряженных градиентов. Выбор параметра регуляризации в соответствии с принципом обобщенной невязки при моделировании измерений с реальной погрешностью не привел к удовлетворительной точности решения поставленной задачи, поэтому использовались фиксированные значения параметра регуляризации, равные 10^{-3} – 10^{-4} . Для метода статистической регуляризации была разрешена принципиальная проблема, связанная с сезонной и региональной привязкой

априорной статистической информации. Показана универсальность созданных для использования данного алгоритма температурных ковариационных матриц при реализованных в экспериментах ошибках радиометрических измерений 0.1 К. Установлен набор статистически независимых углов наблюдения диапазона 0–85°, для которых в предположении о статистической некоррелированности ошибок измерений яркостных температур построена модель множественной линейной регрессии. Получено, что в рамках численных экспериментов результаты решения обратной задачи термического зондирования нижней атмосферы демонстрируют предпочтительность метода статистической регуляризации (погрешности восстановления профиля температуры до высот ~ 500 м не превышают 0.47 К) относительно методики Тихонова (соответствующая ошибка ~ 0.53 К) и множественной регрессии (ошибка ~ 1 К).

Одним из важных факторов, определяющих преимущества метода статистической регуляризации, является его стабильность, что играет существенную роль при непрерывном мониторинге пограничного слоя. Апробация развитых в данной работе методов решения обратной задачи была осуществлена для массива данных синхронного аэрологического и радиометрического зондирования в г. Мурманске в феврале–марте 2002 г. Непрерывное радиометрическое зондирование выполнялось с помощью микроволнового температурного профилемера на частоте 60 ГГц. Анализ результатов зондирования подтвердил устойчивость и повторяемость результатов восстановления, получаемых методом статистической регуляризации. При этом точность восстановления температуры в пограничном слое из экспериментальных данных согласуется с аналогичными оценками, выполненными при численном моделировании.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦНТП "Физика микроволн".

Тепловое излучение земной атмосферы в субмиллиметровом диапазоне волн

Ошарина Н.Н. (mar@nirfi.sci-nnov.ru), Наумов А.П., Китай Ш.Д.

Научно-исследовательский радиофизический институт, Б. Печерская 25, 603950 Нижний Новгород, Россия

В работе выполнены теоретические исследования спектров поглощения и излучения земной атмосферы на различных высотах в области волновых чисел 2–200 см⁻¹ в аспекте постановки обратных задач дистанционного зондирования атмосферных газов. Сложность этой проблемы обусловлена тем обстоятельством, что на рассматриваемый спектральный интервал приходится более 60 000 линий малых газовых составляющих (МГС) земной атмосферы, среди которых преобладают линии вращательных спектров молекул, находящихся в основном колебательном состоянии. Наибольшее количество линий приходится на озон, сернистый ангидрид, двуокись азота.

Анализ спектров поглощения МГС позволил установить, что на область до 55 см⁻¹ приходятся наибольшие значения поглощения в резонансных линиях многих примесных компонент. Так, на высоте ~20 км максимумы поглощения O₃ и NO₂ находятся вблизи 52.7 см⁻¹, CO и NO – вблизи 42 см⁻¹, HNO₃ и COS – вблизи 13.4–14.4 см⁻¹, N₂O – вблизи 19.3 см⁻¹. Следует отметить, что резонансы некоторых МГС разрешаются только в субмиллиметровой области. Например, длинноволновые линии поглощения HI проявляются вблизи 12.8 см⁻¹, HBr – вблизи 16.7 см⁻¹, HCl – вблизи 20.9 см⁻¹ и HF – вблизи 41.1 см⁻¹. Сравнение наиболее сильных линий поглощения МГС, приходящихся на миллиметровые окна прозрачности 3–5 см⁻¹, с линиями субмиллиметрового диапазона, в которых коэффициенты поглощения достигают максимумов, показало, что возрастание коэффициентов поглощения с уменьшением длины волны составляет примерно 170, 1000, 30, 10, 50 и 6 раз для O₃, CO, N₂O, HNO₃, ClO и COS соответственно.

Наличие достаточно интенсивных спектральных линий МГС, приходящихся на окна прозрачности основных атмосферных газов, определяет условия разрешимости

соответствующих спектральных линий. На уровне моря закономерности переноса атмосферной радиации определяются поглощающими (излучающими) свойствами мономеров водяного пара. С увеличением высоты соотношение между радиационными характеристиками основных и примесных газовых компонент меняется. Анализ этих соотношений позволил выделить спектральные области, в которых разрешаются линии примесных газов на соответствующих высотных уровнях и, таким образом, реализуются потенциальные возможности их дистанционной диагностики. В качестве примеров для зондирования на прицельных высотах 20–50 км укажем следующие спектральные области: 11.49 см^{-1} для HNO_3 , 11.73 см^{-1} и 13.40 см^{-1} для N_2O , 10.07 см^{-1} , 21.89 см^{-1} и 28.11 см^{-1} для O_3 .

Решена обратная задача по определению вертикального распределения концентрации озона из моделируемых измерений теплового излучения при лимбовой схеме зондирования в окнах прозрачности субмиллиметрового диапазона. Восстановление высотного профиля озона при мониторинге атмосферы со спутника на касательных трассах сводится к решению нелинейного интегрального уравнения Вольтерра I рода. Соответствующая обратная задача является некорректной, и для ее решения используется итерационный метод, основанный на принципе сжатых отображений. Установлено, что при моделировании лимбового эксперимента по зондированию озона в линиях 10.07 см^{-1} и 28.11 см^{-1} в диапазоне прицельных высот 20–65 км средняя относительная погрешность восстановления вертикального распределения концентрации озона составляет 5 % (моделируемая относительная погрешность радиометрических измерений предполагается равной 10%).

Исследование диэлектрических свойств воды и жидких нефтепродуктов в миллиметровом диапазоне

Дудин В.Е., Свердлов Б.А., Фурашов Н.И. (osh@nirfi.sci-nnov.ru)

Научно-исследовательский радиофизический институт, Б. Печерская 25, 603950 Нижний Новгород, Россия

Решение задач обнаружения и количественного определения нефтяных загрязнений на поверхности акваторий дистанционными микроволновыми методами требует данных о диэлектрических свойствах как загрязняющих веществ, так и самой воды. В докладе сообщается о результатах спектральных диэлектрических измерений нефти, основных видов нефтяных масел и воды в диапазоне волновых чисел $\nu = 2.5\text{--}4\text{ см}^{-1}$ (75–120 ГГц).

Измерения выполнялись на установке квазиоптического типа с источником излучения – лампой обратной волны ОВ-71 и оптико-акустическими приемниками ОАП-7. Диэлектрические параметры исследуемой жидкости определялись по измеренным спектрам коэффициентов пропускания $T(\nu)$ и отражения $R(\nu)$ кюветы, заполненной данной жидкостью, с использованием выражений для $T(\nu)$ и $R(\nu)$, полученных теоретически для трехслойной среды в приближении плоских волн. Температура образцов была около 27°C .

Вода. В экспериментах использовались две пробы воды – дистиллированная вода и морская. Из-за сильного поглощения в воде даже при малой толщине кюветы (0.4 мм) интерференционные осцилляции в спектрах $T(\nu)$ и $R(\nu)$, по которым обычно определяются диэлектрические параметры образца, были практически полностью подавлены, поэтому в данном случае значения диэлектрических параметров воды отыскивались путем совместного численного решения уравнений для коэффициентов пропускания и отражения трехслойной среды. В результате на ряде частот рабочего диапазона были получены значения показателей преломления n и поглощения k , по которым методом наименьших квадратов находились аппроксимационные функции, задаваемые в виде полиномов до третьей степени включительно. Из полученных данных для параметра k следует, что с точностью до $dk < 0.04$ ($dk/k < 2\%$) значения показателей поглощения дистиллированной и морской воды совпадают. В отношении показателя преломления n согласие не столь хорошее, здесь разница в значениях, найденных для дистиллированной и морской воды на некоторых частотах достигает 7%. Учитывая, однако, более низкую (по сравнению с k) точность полученных

значений n , говорить сколько-нибудь уверенно о реальности этого различия на данном этапе вряд ли возможно. Что касается частотной зависимости n и k , то согласно проведенным измерениям, значения обоих показателей уменьшаются с ростом частоты. На границах диапазона показатель преломления примерно равен 4 и 3.2, а показатель поглощения 2.3 и 1.85.

Нефтепродукты. В отличие от воды нефтепродукты обладают сравнительно небольшим поглощением, и благодаря присутствию в спектрах $T(\nu)$, $R(\nu)$ осцилляций, обусловленных многократным прохождением излучения через слой исследуемого нефтепродукта, его диэлектрические параметры могли определяться независимо по тому или другому спектру. В докладе приведены полученные таким образом данные для нефти и пяти нефтяных масел: авиационного СМ-4,5, моторного SAE-10W30, индустриального И-8А, трансформаторного и вакуумного ВМ-1. Согласно этим данным, показатели преломления для этих продуктов имеют достаточно близкие значения и незначительный отрицательный частотный ход. На частоте 100 ГГц значения n лежат в интервале от 1.476 (СМ-4,5) до 1.495 (И-8А). Изменение величины n с частотой в диапазоне $2.5\text{--}4\text{ см}^{-1}$ для всех образцов не превышает 0.6%.

С показателем поглощения k ситуация иная: исследованные жидкости имеют не только сильно различающиеся значения этого параметра, но и различную зависимость его от частоты. Наибольшими потерями обладают нефть и масло СМ-4,5, на частоте 100 ГГц их показатели поглощения соответственно равны 0.0019 и 0.0017. Наименьший уровень поглощения ($k = 0.0002\text{--}0.0003$) наблюдается в вакуумном масле ВМ-1. О частотной зависимости $k(\nu)$ можно сказать следующее: наиболее значительный положительный частотный ход наблюдается для масла SAE-10W30, для которого $k(\nu=4)/k(\nu=2.5)=1.68$; показатели поглощения масла СМ-45 и нефти имеют существенный отрицательный ход, для них $k(\nu=4)/k(\nu=2.5)=0.74$ и 0.79 соответственно.

В докладе также проводится сопоставление полученных результатов с данными других авторов.

Дистанционное зондирование температурной плёнки морской поверхности методами спектральной миллиметровой радиометрии

Станкевич К.С. (stnk@nirfi.sci-nnov.ru), Бубукин И.Т.

Научно-исследовательский радиофизический институт, Большая Печерская 25, 603950 Нижний Новгород, Россия

Приведены результаты радиометрических дистанционных одновременных измерений температуры и излучательной способности верхнего слоя температурной плёнки морской поверхности толщиной 0.2 мм в натурных условиях при ветровом волнении, отличающиеся повышенной точностью. Повышение точности достигнуто благодаря применению метода, основанного на измерении интенсивности радиоизлучения поверхности при подсветке её излучением известной, но изменяющейся мощности. В нашем эксперименте такой подсветкой являлось радиоизлучение атмосферы, яркостная температура которой значительно изменяется в зависимости от частоты на склоне полосы поглощения молекулярного кислорода. В результате по корреляционной зависимости между яркостными температурами излучений поверхности и атмосферы, измеренными радиометром–спектрометром на ряде каналов, разнесённых по частоте, определяется излучательная способность и температура в скин-слое.

Яркостные температуры излучений моря и атмосферы измерялись на 4 частотах 5-мм диапазона (53–55 ГГц) на вертикальной поляризации. Для оперативных абсолютных измерений был создан метод калибровки с применением абсолютно чёрного диска и двух отражающих зеркал, имеющих одинаковые телесные углы.

Измеренные величины излучательной способности изменчивы и существенно меньше теоретических, вычисленных с использованием принятых моделей диэлектрической проницаемости воды и взволнованной поверхности. Возможной причиной может рассматриваться изменение диэлектрической проницаемости воды в тонком поверхностном слое температурной плёнки (0.2 мм) за счёт концентрации в этом слое растворённых в воде газов и поверхностно-активных веществ.

Определение теплового потока на границе морская поверхность – атмосфера по СВЧ и ИК измерениям

Бубукин И.Т. (bubn@nirfi.sci-nnov.ru), Станкевич К.С. (stnk@nirfi.sci-nnov.ru)
Научно-исследовательский радиофизический институт, Б. Печерская 25, 603950 Нижний Новгород, Россия

Приведены результаты натурных дистанционных радиометрических измерений температуры и теплового потока на границе морская поверхность – атмосфера в СВЧ (4 см) и ИК (8–12 мкм) диапазонах. Эксперимент проводился в июле–августе 2002, 2003 гг. в прибрежной зоне восточного побережья Крыма. Измерения в СВЧ-диапазоне проводились с помощью специальной фазово-поляризационной радиометрической системы, позволяющей исключать влияние крупномасштабного (по сравнению с длиной волны принимаемого излучения) волнения на принимаемый сигнал. Учёт влияния мелкомасштабного волнения (ряби) проводился по новой технологии, основанной на использовании разностных сигналов поляризационных измерений. Новая методика учитывает состояние волнения ряби на момент измерений, что позволяет повысить точность и оперативность получения информации по сравнению с ранее использованным методом, основанным на усреднённых радиационно-ветровых зависимостях для волн ряби.

По измерениям в ИК и СВЧ диапазонах в условиях ветрового волнения измерены температурные градиенты в поверхностной температурной плёнке и определён тепловой поток на границе морская поверхность – атмосфера. Исследована корреляция теплового потока со скоростью ветра. Проведены синхронные измерения тепловых потоков в термической плёнке и ИК-излучения моря и атмосферы в диапазоне 8–14 мкм. Исследована корреляция теплового потока с радиационным балансом море-атмосфера в ИК-диапазоне.

Полярные стратосферные облака и вариации озона по данным микроволновых наблюдений во время кампаний SOLVE-I, II на Кольском полуострове

Куликов Ю.Ю. (yuyukul@appl.sci-nnov.ru), Красильников А.А., Рыскин В.Г.
Институт прикладной физики РАН, Ульянова 46, 603950 Нижний Новгород, Россия

Полярные стратосферные облака (ПСО) принято считать основным фактором в весеннем разрушении озона над Антарктидой посредством гетерогенных химических реакций. Стратосферные облака образуются на высотах от 15 до 30 км. ПСО образуются, когда воздух над полярными районами достаточно охладится, как правило, до температур ниже 200 К. Эти облака образуются в течение зимы главным образом во внутренней холодной части полярного стратосферного вихря. ПСО наблюдаются также и в Арктике, хотя обычно нижняя стратосфера в Арктике теплее, чем в Антарктике. Для регистрации ПСО используются наземные и баллонные лидары, а также спутниковые средства измерения в оптическом диапазоне длин волн.

В последние годы для диагностики стратосферного озона широко используется дистанционный наземный метод микроволновой радиометрии. Этот метод позволяет практически непрерывно следить за поведением озона на высотах более 20 км. Благодаря этой возможности представляется интересным применить микроволновую радиометрию для

оценки влияния ПСО на образование локальных областей снижения содержания озона в полярных широтах Арктики. Наземные микроволновые измерения содержания озона были выполнены с 23 января по 31 марта 2000 года и с 22 ноября 2002 года по 6 марта 2003 года на стратосферном полигоне Полярного геофизического института КНЦ РАН в г. Апатиты (67° с.ш., 35° в.д.) в рамках международных кампаний SOLVE-I, II. В измерениях использовался спектрорадиометр, настроенный на частоту вращательного перехода озона 101736.8 МГц. Анализатор спектра этого прибора имел общую полосу 155 МГц и переменное частотное разрешение от 1 МГц до 15 МГц. Характеристики спектрорадиометра позволяли получать вертикальное распределение озона с точностью не хуже 20% в интервале высот от 20 до 60 км, используя операцию инверсии экспериментально полученных спектров излучения атмосферы.

Данные о регистрации появления ПСО (их координаты и высота над уровнем моря) над Апатитами были получены со спутника POAM-III. Следует отметить, что во время исследований в рамках программ SOLVE-I и SOLVE-II ПСО обнаруживались не только в нижней стратосфере, но и значительно выше – в интервале высот 25–27 км.

Анализ данных о появлении ПСО с результатами микроволновых измерений (Апатиты) и зондовых на финской станции Соданкюля измерений плотности озона на высотах 15, 20 и 25 км показал, что при наличии и отсутствии ПСО разница измеренной плотности озона относительно модели практически не отличается на высотах от 20 до 25 км. Таким образом, во время зимних кампаний 1999/2000 и 2002/2003 было обнаружено, что ПСО не дали дополнительного снижения озона на высотах более 20 км. Другими словами мы не выявили пространственных неоднородностей в поле озона, связанных с ПСО.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 01-02-16540 и 03-05-64311).

Восстановление высотного распределения озона по данным миллиметрового зондирования атмосферы

Мухин Д.Н. (mukhin@appl.sci-nnov.ru), Мольков Я.И., Суворов Е.В., Фейгин А.М.
Институт прикладной физики РАН, Ульянова 46, 603950 Н.-Новгород, Россия

Предложен метод восстановления высотного распределения (профиля) концентрации атмосферного озона по наземным радиометрическим измерениям, основанный на байесовом подходе к решению обратных задач. Метод предполагает построение распределений вероятности для концентрации озона во всем диапазоне зондируемых высот. Для аппроксимации восстанавливаемого профиля используется функция в виде искусственной нейронной сети; предлагается способ статистической регуляризации решения такого вида.

В докладе обсуждаются результаты восстановления профилей озона по спектрам радиационной температуры атмосферы в линиях излучения озона, измеренным в Апатитах.

Результаты микроволновых исследований вертикальной структуры озонового слоя в зимней полярной стратосфере

Рыскин В.Г. (rys@appl.sci-nnov.ru), Куликов Ю.Ю., Красильников А.А., Кукин Л.М.
Институт прикладной физики РАН, Ульянова 46, 603950 Нижний Новгород, Россия

Значительная часть исследований изменчивости озонового слоя зимой и ранней весной приходится на область нижней стратосферы, где в это время интенсивно протекают процессы химического разрушения озона, связанные с активацией хлора на аэрозольных частицах полярных стратосферных облаков (ПСО). Эти облака образуются в течение зимы главным образом во внутренней, холодной части полярного стратосферного циклона. Следует подчеркнуть, что он имеет значительную вертикальную протяженность и нередко достигает высот стратопаузы. Поэтому представляет интерес исследование связи между

поведением озона и активностью полярного вихря не только в нижней стратосфере, но и в средней и верхней ее частях.

В данном сообщении приводятся результаты анализа вертикальной структуры озонового слоя в стратосфере Арктики (интервал высот 25–60 км), полученные на основе длительных измерений в течение зимних сезонов 1999/2000 и 2002/2003 годов в Апатитах (Кольский п-ов). Измерение содержания стратосферного озона осуществлялось с помощью методики микроволнового дистанционного зондирования с поверхности Земли с использованием спектрорадиометра, настроенного на резонансную частоту 101736.8 МГц вращательного перехода озона $4_{0,4} - 4_{1,3}$. Зимы 1999/2000 и 2002/2003 годов оказались одними из самых холодных за последнее десятилетие. Вариации озона на высотах 25–30 км в эти сезоны имели сходный характер. Так, во внутренней холодной части полярного циклона наблюдались пониженные величины содержания O_3 по сравнению с внешними областями. Во время разрушения вихря с развитием стратосферного потепления количество озона в стратосфере резко возрастало вплоть до высот порядка 40 км. Однако, благодаря большей продолжительности существования стабильного циклона в сезоне 2002/2003 годов (с ноября по январь) наблюдались более низкие значения плотности озона, например, в декабре – менее $2 \cdot 10^{12}$ мол/см³ на высоте 25 км. Для сравнения аналогичная величина для сезона 1999/2000 годов была $2.8 \cdot 10^{12}$ мол/см³.

Впервые на рубеже 2002/2003 годов мы проследили эволюцию озона в верхней части стратосферы во время развития здесь потепления. Согласно данным анализа ECMWF оно начало развиваться в конце декабря в верхней части стратосферы (уровень ~ 1 гПа) и, опускаясь, достигло уровня 20 гПа (высота около 25 км). На резкое изменение теплового фона указали данные лидарных наблюдений высотного температурного профиля на севере Норвегии. По этим измерениям 30 декабря 2002 года на уровне 2 гПа (высота около 40 км) была зарегистрирована максимальная температура $+31^\circ\text{C}$. В нижней стратосфере (высоты 20–25 км) температурное распределение было не возмущено, и полярный вихрь здесь оставался стабильным. Результаты микроволновых и баллонных измерений, проведенных в это время, показали, что в интервале высот 25–30 км вариации озона были минимальны. Однако на высотах более 40 км произошло значительное (почти вдвое) увеличение количества озона в январе 2003 года по сравнению с декабрьскими значениями, а также отмечены значительные колебания его содержания до середины февраля. Рост озона, по-видимому, был связан с развитием потепления в средней и верхней стратосфере. На наш взгляд этот рост обусловлен меридиональной циркуляцией, которая обеспечила перенос озона из умеренных широт в верхнюю часть стратосферы полярного региона. Нисходящий поток, связанный с вертикальной составляющей этой циркуляции, по-видимому, вызвал здесь значительные температурные возмущения и отмеченные нами колебания озона.

Работа была выполнена при поддержке РФФИ (гранты 01-02-16540, 03-05-64311 и 03-02-31012).

Методы повышения точности определения характеристик состояния атмосферы и поверхности по данным СВЧ радиометрических наблюдений ИСЗ "Метеор-3М" и NOAA

Образцов С.П. (sobraztsov@rbcmail.ru), Щукин Г.Г. (shchukin@main.mgo.rssi.ru)

Филиал ГГО им. А.И. Воейкова (НИЦ дистанционного зондирования атмосферы), Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

Для проведения численных исследований точности СВЧ радиометрического метода дистанционного зондирования параметров состояния системы атмосфера–подстилающая поверхность на основе интерпретации данных наблюдений радиометров МТВ3А ("Метеор–3М") и AMSU (NOAA) с привлечением дополнительных данных наземных наблюдений были разработаны и реализованы алгоритмы расчета поля уходящего радиотеплового излучения

атмосферы и поверхности с учетом поляризации и многократного рассеяния. Радиационная модель предусматривает возможность учитывать поглощение водяного пара и кислорода в атмосфере, влияние облачности и осадков (дождя, мороси), а также моделировать излучение основных типов поверхности – водной поверхности с учетом солености воды и скорости приводного ветра, почвы с учетом ее влажности, шероховатости и биомассы растительности, снежно-ледовых покровов с учетом плотности снега и солености льда.

Для задания высотного распределения параметров состояния атмосферы (давление, температура, содержание водяного пара) использовались модели, полученные путем статистической обработки данных радиозондирования в п. Воейково Ленинградской области за 15 лет, детализированные по месяцам и типам облачности, а также некоторые стандартные модели.

В дальнейшем были реализованы алгоритмы расчета весовых функций для линеаризованного оператора вариаций уравнения переноса излучения и алгоритмы оценки информативности и точности восстановления параметров состояния атмосферы и подстилающей поверхности при использовании метода статистической регуляризации на основе анализа матриц ошибок и на основе многократных восстановлений по замкнутой схеме.

В докладе приведены результаты этих исследований, а также примеры обработки данных реальных наблюдений радиометра AMSU (NOAA) для Ленинградской области. Проведенные численные исследования показали, что оптимальные значения ошибок восстановления вертикальных распределений параметров состояния атмосферы можно получить для случая ясной погоды или слабой облачности при восстановлении температуры в 5-ти, 8-ми слоях в интервале высот 0–40 км и характеристик влагосодержания в 2-х, 3-х слоях на высотах до 10-ти км. Основными факторами повышения точности является возможность использования детальной статистики с учетом времени года и времени суток и привлечения данных наземной метеосети. При выполнении вышеизложенного можно ожидать уменьшения ошибки определения температуры до 1–1.5 К, относительных ошибок восстановления влажности и водности облаков до 10% и 15% соответственно.

При водозапасае облачности более 0.4–0.5 кг/м² и высоте ее верхней границы более 3 км процедура восстановления температуры и влажности сводится фактически к определению температуры и общего содержания водяного пара в надоблачном слое атмосферы. В этом случае, как и при определении интегральных характеристик влагосодержания в безоблачной атмосфере, эффективность восстановления достигает значений 75–95% в зависимости от погрешности и угла наблюдений, особенностей подстилающей поверхности и т.п. Согласно полученным результатам предельная относительная ошибка определения общих содержаний парообразной и жидкой влаги составляет около 5%.

При численных исследованиях точности определения характеристик состояния подстилающей поверхности предполагалось, что ее радиационные свойства могут быть заданы значениями двух параметров – кинетической температурой самой поверхности и параметром, определяющим ее излучательную способность. Для суши в качестве такого параметра была рассмотрена влажность почвы или состояние растительности, а для морской поверхности исследовалась возможность определения скорости приводного ветра. Общей закономерностью для приведенных результатов является постепенное снижение точности восстановления с увеличением оптической плотности атмосферы вследствие появления облачности и осадков.

В целом можно отметить высокие значения точности восстановления для всех параметров в условиях безоблачной атмосферы, а также хорошие перспективы при определении общих содержаний влажностных характеристик над водной поверхностью.

Работа выполнена при финансовой поддержке по гранту Президента Российской Федерации № НШ-1793.2003.5.

Оценка потенциальных точностей восстановления интегральных параметров влагосодержания атмосферы по данным радиометра AMSR-E на борту спутника AQUA

Заболотских Е.В. (elizaveta.zabolotskikh@niersc.spb.ru), Бобылев Л.П.
Научный фонд "Нансен-Центр", ул. Б. Монетная 26/28, 197101 Санкт-Петербург, Россия

Митник Л.М. (mitnik@poi.dvo.ru)
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДО РАН, ул. Балтийская 43, 690041 Владивосток, Россия

Йоханнессенн О.М. (ola.johannessen@nersc.no)
Центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена, Берген, Норвегия

Спутниковые пассивные микроволновые измерения способны давать оценки таких интегральных атмосферных параметров как влагосодержание атмосферы Q и водосодержание облаков W . Запуск нового микроволнового радиометра Advanced Microwave Sounding Radiometer (AMSR-E) на борту американского спутника Aqua, расширяет возможности регулярной оперативной оценки этих параметров и требует разработки эффективных алгоритмов для их определения.

В данном исследовании предложены алгоритмы определения параметров океана и атмосферы по данным радиометра AMSR-E, основанные на применении Нейронных Сетей (НС). Эти алгоритмы основаны на использовании расчетных значений радиоярких температур, полученных путем расчета уходящего излучения системы Океан-Атмосфера. Данные значения рассматриваются как квази-измеренные радиометром и используются для настройки НС. Теоретические погрешности восстановления параметров рассчитываются путем применения настроенных НС к независимому набору радиоярких температур (так же рассчитанных и суммированных с шумами радиометра) и сравниваются с ошибками, полученными путем применения альтернативных – традиционных алгоритмов.

Наименьшие погрешности восстановления обоих параметров получаются при использовании однопараметрической НС с одним скрытым уровнем, состоящим из нескольких обрабатывающих нейронов. При этом для разных уровней атмосферного поглощения следует настраивать различные Нейронные Сети. В данной работе были рассмотрены 3 уровня атмосферного поглощения, характеризующиеся разными значениями поляризационной разницы измерений на 36 ГГц $DT36 = T_{\text{яВ}}(36 \text{ ГГц}) - T_{\text{яГ}}(36 \text{ ГГц})$: 1) $DT36 > 50 \text{ К}$; 2) $35 \text{ К} < DT36 < 50 \text{ К}$ и 3) $15 \text{ К} < DT36 < 35 \text{ К}$. Ситуации с $DT36 < 15 \text{ К}$ идентифицировались как осадки и исключались из рассмотрения. Полученные ошибки (среднеквадратичные отклонения s восстановленных значений от измеренных) составили: $sQ_{1,2} = 0.4 \text{ кг/м}^2$, $sQ_3 = 0.7 \text{ кг/м}^2$; $sW_{1,2} = 0.02 \text{ кг/м}^2$, $sW_3 = 0.03 \text{ кг/м}^2$. Сравнение полученных при помощи НС-алгоритмов ошибок с ошибками альтернативных алгоритмов (например, нелинейной множественной регрессии) показало, что НС обеспечивают на 20–50% меньшие погрешности, чем альтернативные алгоритмы.

Численные эксперименты по восстановлению профилей температуры на основе обработки измерений аппаратуры МТВЗА КА "Метеор-3М" №1

Пегасов В.М., Бухаров М.В., Успенский А.Б. (uspensky@planet.iitp.ru)
НИИ космической гидрометеорологии "Планета", Б. Претеченский пер 7, 123242 Москва, Россия

Выполнен анализ применимости ограниченного архива данных измерений МКВ радиометра МТВЗА ИСЗ "Метеор-3М" №1 для целей температурного зондирования атмосферы (ТЗА), включающий визуальный анализ глобальных полей сигналов и сравнительный анализ теоретических и фактических зависимостей между данными в парах каналов.

По результатам проведенного анализа сделаны следующие выводы: данные в "прозрачных" каналах №№ 1–6 имеют повышенный уровень измерительной погрешности, что делает их малопригодными для использования; можно предположить, что искажения сигналов связаны с трансформацией диаграмм направленности каналов, о чем косвенно свидетельствует отсутствие "чувствительности" измерений №№ 1–6 каналов к переходу границы "море/суша"; данные в "температурных" каналах №№ 7–11 физически более достоверны, и их можно использовать в экспериментах по дистанционному ТЗА с некоторыми ограничениями, при этом также необходима разработка процедур фильтрации для уменьшения уровня инструментальной погрешности.

Созданы и испытаны процедуры коррекции и абсолютной калибровки фактической информации МТВЗА. После коррекции и калибровки фактическая информация МТВЗА пригодна для получения данных ТЗА с некоторыми ограничениями (результаты ТЗА, имеющие СКО < 3.5 К, удалось получить для примерно 60% всей анализировавшейся информации МТВЗА).

Выполнено восстановление профилей температуры регионального и глобального покрытия с помощью регрессионного алгоритма тематической обработки МКВ измерений, получены точностные характеристики результатов ТЗА. Средний уровень ошибок восстановления профилей температуры по фактическим данным МТВЗА составляет 2–3.5 К в слое 1000–400 гПа.

Анализ изменений многолетнего льда в Арктике с использованием данных спутникового микроволнового дистанционного зондирования

Александров В.Ю., Бобылев Л.П., Бабина О.И.

Научный фонд "Нансен-Центр", ул. Б. Монетная 26/28, 197101 Санкт-Петербург, Россия

Йоханнессен О.М.

Центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена, Берген, Норвегия

Александров М.В.

Санкт-Петербургский Государственный Университет, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Ледяной покров считается потенциальным индикатором глобального потепления, которое, как считается, будет особенно значительным в полярных регионах. Начиная с 70-х годов прошлого века данные спутниковых микроволновых радиометров используются для оценки характеристик морских льдов. При этом основными оцениваемыми характеристиками являются сплоченность льдов, распространение морского льда (площадь Северного Ледовитого Океана, ограниченная кромкой льдов), площадь льда (A_i), а также площадь многолетнего льда (A_{mi}). Анализ спутниковых микроволновых данных, проведенный различными исследователями, показал устойчивое уменьшение количества морских льдов в Северном Ледовитом Океане за отмеченный период. При этом наиболее значительные тренды были получены для минимальной площади льда в летний период и площади многолетнего льда. В представленной работе проводится сравнительный анализ изменений этих параметров и оценок площади многолетнего льда.

При использовании спутниковых микроволновых радиометров параметры морского льда оцениваются в пределах каждого элемента разрешения и общая площадь льда определяется как сумма его площадей во всех элементах разрешения в пределах границ Северного Ледовитого Океана:

$$A_i(t) = \sum_{\varphi \in AO} \sum_{\lambda \in AO} S_i \times C_i(t),$$

где $C_i(t)$ – сплоченность морского льда в элементе разрешения, S_i – площадь элемента разрешения, t – день года.

Согласно определению многолетнего льда (т.е. льда, который пережил период летнего таяния), его площадь может быть оценена следующим образом:

$$A_{mi0} = \min(A_i(t)), \quad 1 < t < 355,$$

где A_{mi0} – площадь многолетнего льда в день начала замерзания. Формально принято считать, что весь нарастающий за лето лед переходит в категорию многолетнего при $t = 274$. Реально, замерзание льдов в различных районах Арктики начинается в различные дни и недели. Таким образом, межгодовые тренды изменения площади многолетнего льда в начале периода замерзания и общей минимальной площади льда должны быть примерно одинаковыми.

После окончания таяния площадь многолетнего льда уменьшается вследствие его выноса из Северного Ледовитого Океана, в основном через пролив Фрама, а также в результате торошения, и это изменение до начала таяния в следующее лето может быть описано выражением:

$$A_{mi}(t) = A_{mi0} - A_{mi\exp}(t - t_0) - \Delta A_{midef}(t - t_0),$$

где $A_{mi\exp}(t - t_0)$ – площадь вынесенного с начала замерзания льда, $\Delta A_{midef}(t - t_0)$ – уменьшение площади многолетнего льда вследствие торошения. Площадь многолетнего льда также уменьшается и в течение последующего летнего периода, по окончании которого весь нарастающий лед (как многолетний, так и однолетний) переходит в категорию многолетнего.

На практике, площадь многолетнего льда по данным спутниковых микроволновых радиометров определяется только в период ноябрь–март, и поэтому тренды изменения общей минимальной площади льда и площади многолетнего льда могут отличаться. В наших вычислениях мы использовали данные о среднемесячной площади морских льдов, вычисленные с использованием алгоритма NORSEX за период 1979–1999. За этот период уменьшение площади льда в августе и сентябре составило 38597 и 26000 км²/год, соответственно, а уменьшение среднемесячной минимальной площади льда – 34225 км²/год. Анализ изменений средней площади многолетнего льда в ноябре, определенной при помощи алгоритма NORSEX за те же года, выявил уменьшение, составляющее 35300 км²/год. Для сравнения нами было оценено уменьшение минимальных среднемесячных значений площади льда, полученных по данным Захарова. По этим данным, в течение рассматриваемого периода минимальная площадь льдов наблюдалась в сентябре, и ее уменьшение в период 1979–1999 годов составило 26150 км²/год.

Верификация оценок площади многолетнего льда, полученных по данным SSM/I при помощи алгоритма NORSEX, производилась путем сравнения с оценками, полученными по синхронным радиолокационным изображениям со спутников Океан, RADARSAT и ERS. В докладе приводятся результаты данного сравнения для различных районов Арктики и различных зимних месяцев.

СЕКЦИЯ 1. ТЕОРИЯ ПЕРЕНОСА ИЗЛУЧЕНИЯ – НОВЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ

Председатель: проф. Т.А. Гермогенова (ИПМ РАН, Москва)

Сопредседатель: Е.П. Зега (Институт Физики НАНБ, Минск)

Влияние зенитного угла солнца и альбедо подстилающей поверхности на коэффициент яркости отраженного излучения вблизи границы облако/атмосфера

Николаева О.В., Басс Л.П., Гермогенова Т.А.

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Миусская пл. 4, 125047 Москва, Россия

Кохановский А.А.

Институт физики им. Б.И. Степанова НАНБ, пр. Скарны 70, 220072 Минск, Беларусь

Кузнецов В.С.

ФГУ РНЦ "КИ" Институт ядерных реакторов, пл. Курчатова 1, 123182 Москва, Россия

Рассматривается прямая задача дистанционного зондирования – нахождение яркости солнечного излучения, отраженного в зенит горизонтально-неоднородным облачно-аэрозольным слоем. Рассеяние солнечного света на частицах аэрозоля моделируется индикатрисой Хенли-Гринстейна с параметром асимметрии $g = 0.7$. Аналогичные процессы в облаке описываются с помощью теории Ми в предположении, что длина световой волны равна 412 nm (параметр асимметрии приближенно равен 0.85). Отражение света от земной поверхности считается изотропным.

Переходный режим вблизи вертикальной границы сред не определяется одномерной моделью, и при решении данной задачи в зависимости от направления падения солнечного излучения приходится использовать двумерные и трехмерные модели.

Для решения уравнения переноса мы используем программный комплекс РАДУГА-5.1(П) [1], ориентированный на компьютеры с параллельной архитектурой. Численный алгоритм опирается на аналитическое определение интенсивности нерассеянного излучения и расчет интенсивности рассеянного излучения специальной сеточной схемой метода дискретных ординат [2], позволяющей получать физически корректные результаты при расчете резко меняющихся решений [3]. Индикатрисы рассеяния представляются разложениями по полиномам Лежандра, причем сильно вытянутый пик облачной индикатрисы аппроксимируется δ -функцией. Привлечение многопроцессорной суперЭВМ МВС-1000/М позволяет использовать достаточно густые пространственные и угловые сетки и получать детальные распределения интенсивности излучения во всей расчетной области.

Точность полученных результатов вдали от границы сред подтверждается одномерными расчетами. Анализ функции яркости в пограничном слое позволяет установить степень влияния облака на результаты дистанционного зондирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проекты 01-01-00570 и 04-01-00404).

Пуассоновская модель разорванной облачности: подход к валидации

Журавлева Т.Б. (ztb@iao.ru)

Институт оптики атмосферы СО РАН, Академический 1, 634055 Томск, Россия

Маршак А.Л.

НАСА, США

Одним из основных критериев применимости любой стохастической модели облаков является ее согласие с измеренными статистическими характеристиками облачности и радиации. Поскольку корректное сравнение результатов численного моделирования с

данными натурных измерений возможно только на основе результатов комплексных радиационных экспериментов, валидация стохастических моделей облачности является чрезвычайно сложной задачей. В связи с этим опубликованные в литературе результаты такого тестирования представлены в крайне ограниченном объеме.

Конечная цель данного исследования состоит в валидации статистически однородной пуассоновской модели разорванной облачности, предложенной Г.А.Титовым [1]. Выполненные ранее сравнения рассчитанных статистических характеристик облачности и радиации с результатами измерений показали, что в целом эта модель правильно описывает перенос солнечной радиации в разорванных облаках. К сожалению, на первом этапе исследований множество данных, на основе которых проходила валидация, было крайне ограниченным и неполным. Одной из основных проблем было отсутствие информации о важнейшем входном параметре пуассоновской модели – $AR = H/D$ (aspect ratio), H – геометрическая толщина облачного слоя, D – средний горизонтальный размер облачных элементов.

В настоящей работе изложен подход, который мы предлагаем использовать для валидации пуассоновской модели в случаях, когда информация относительно AR либо отсутствует вообще, либо известна с большой долей неопределенности. Вместо реальных данных об облачных и радиационных полях на данном этапе исследования были взяты реализации, соответствующие модификации частично интегрированной каскадной модели [2]. Входными параметрами каскадной модели являются определяемые из данных натурных измерений средняя оптическая толщина облаков, ее стандартное отклонение, показатель степенного спектра и средний балл облачности. Горизонтальное распределение оптической толщины облаков описывается гамма-распределением. Для решения уравнения переноса излучения в выборочной реализации облачного поля используется метод Монте-Карло. Эффективный расчет средних по облачным реализациям значений потоков и дисперсий достигается введением дополнительной случайности (рандомизации).

В пуассоновской модели для расчета средних по реализациям потоков излучения при фиксированной оптической толщине облаков используется метод замкнутых уравнений. Полученные результаты усредняются по оптической толщине облаков согласно гамма-распределению с теми же самыми параметрами, которые были использованы при моделировании каскадной модели. Параметр AR выбирается так, чтобы для фиксированного зенитного угла Солнца средние потоки нерассеянного излучения в пуассоновской и каскадной моделях отличались в пределах заданной точности, которая определялась величиной стандартного отклонения в каскадной модели. Показано, что в широком диапазоне зенитных углов Солнца для данного балла облачности существует такой интервал изменения AR , при котором значения среднего альбеда и диффузного пропускания в обеих моделях близки. Обсуждаются вариации диапазона изменчивости AR в зависимости от средних значений балла облачности и оптической толщины.

Работа поддержана РФФИ (грант 03-05-64655а) и Проектом 13.4 программы фундаментальных исследований Президиума РАН "Изменение окружающей среды и климата: природные катастрофы".

1. Зуев В.Е., Титов Г.А. Оптика атмосферы и климат. Томск: изд. "Спектр" ИОА СО РАН, 1996, 271 стр.
2. Marshak A., Davis A., Wiscombe W. J., Ridgway W., and Cahalan R.F. Biases in shortwave column absorption in the presence of fractal clouds. *J. Climate*, 1998, 11, 431-446.

Применение трехмерного метода Монте–Карло и моделей многослойной облачности для разработки и тестирования оперативных радиационных алгоритмов

Рублев А.Н. (A.Rublev@imp.kiae.ru), Трембач В.В., Троценко А.Н., Удалова Т.А.,
Успенский А.Б.

РНИЦ "Курчатовский институт", Институт молекулярной физики, пл. Курчатова 1, 123182 Москва, Россия

Для оценки точности и работоспособности оперативных алгоритмов, используемых в радиационных блоках гидродинамических прогнозных моделей или при обработке

спутниковых измерений, разработан программный комплекс, включающий в себя генератор атмосферных моделей и ряд алгоритмов трехмерного метода Монте-Карло, предназначенных для точных расчетов потоков и интенсивностей солнечного и собственного излучения в земной атмосфере.

Вертикальная структура облачности в моделях атмосферы задается на основе анализа радиозондовых измерений, представленных в известном наборе NOAA88/89 (примерно 8000 вертикальных профилей температуры и влажности на стандартной сетке по давлению). Для оценки параметров облачности (балльность, высота) по особенностям вертикальных профилей температуры и влажности используются известные алгоритмы. В настоящее время принятая схема позволяет моделировать три облачных яруса, причем в двух нижних из них могут задаваться как слоистые облака (Stratus или Altostratus), так и независимые пространственные структуры разорванной облачности (Cumulus и Altocumulus). Разорванная облачность представляется в виде случайной реализации гауссовского поля, ограниченной снизу. Параметры корреляционной функции определяются в зависимости от балла, средних диаметра и высоты отдельных облаков. В верхнем ярусе (свыше 6 км) может моделироваться перистая облачность (Cirrus) в виде плоско-параллельного горизонтального слоя. Микрофизические и оптические параметры облаков моделируются по регрессионным формулам в зависимости от влажности и температуры, фазовый состав – на основе литературных данных по частоте встречаемости водяных и кристаллических облаков. Сопоставление по среднему баллу выборок, получаемых с помощью разработанного генератора для различных районов земного шара, со статистиками облачных параметров пяти независимых баз данных, представленных в Интернете и литературе, показало хорошее согласие.

Вертикальные профили других атмосферных параметров разыгрываются случайным образом с использованием статистических оценок параметров их вероятностных распределений. Спектральные характеристики отражения и поглощения подстилающей поверхности задаются для каждой модели отдельно по географическим координатам и времени запуска радиозонда.

Вычисления потоков и интенсивностей в зависимости от конкретной решаемой задачи проводятся одним из нескольких алгоритмов метода Монте-Карло с полинейным учетом газового поглощения. Для расчета солнечных интегральных потоков используется простое аналоговое моделирование. Для расчета интенсивностей как солнечного света, так и собственного излучения атмосферы применяются алгоритмы, основанные на решении сопряженного уравнения переноса. Алгоритмы позволяют получать интегральные и спектральные потоки и интенсивностей в диапазоне 0.2–40 мкм.

Непосредственно разработанное программно-математическое обеспечение применялось для моделирования изменчивости общего поглощения солнечного излучения земной атмосферой в условиях облачности и дало удовлетворительное совпадение по параметрам распределений, полученных А. Аркингом непосредственно из статистической обработки наземных и спутниковых наблюдений в Северном полушарии. Кроме того, моделирование интенсивностей уходящего излучения в каналах ИК спутникового интерферометра IASI позволило разработать метод идентификации параметров облачности. Экспериментальная проверка метода по данным реальных измерений самолетного интерферометра NAST-I, близкого по своим характеристикам к IASI, показало, что разработанный алгоритм достаточно точно воспроизводит особенности пространственных структур подпиксельной облачности, выделяемых ИК сканером с высоким пространственным разрешением.

Главным итогом проводимых исследований является создание реляционной базы облачных модельных ситуаций на основе вертикальных профилей реальных радиозондовых измерений, выполненных в различных регионах земного шара. В сочетании с развитыми радиационными алгоритмами на основе трехмерного метода Монте-Карло впервые появилась возможность оценивать вероятностные и точностные характеристики различных

оперативных способов оценки потоков солнечного излучения или облачных параметров в условиях реалистических моделей атмосферы, отражающих горизонтально-неоднородную структуру разорванной и многослойной облачности.

Весовой метод Монте-Карло в стохастических задачах теории переноса

Каргин Б.А. (bkargin@osmf.sccc.ru), Каргин А.Б.

*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, пр. ак. Лаврентьева 6,
630090 Новосибирск, Россия*

Доклад посвящен рассмотрению комплекса вопросов, связанных со статистическим моделированием процессов переноса электромагнитного излучения в рассеивающих и поглощающих средах. Предполагается, что пространственно-временные вариации оптических параметров этих сред имеют случайный характер. Разработаны новые алгоритмы метода Монте-Карло и комплекс программ, позволяющие строить численные модели поля электромагнитного излучения в стохастических средах. Комплекс ориентирован на решение стохастических задач оптики атмосферы и океана. Основное внимание уделено вопросам моделирования радиационных полей в облачной атмосфере и в системе океан-атмосфера. Представлены также алгоритмы оценки оптической передаточной функции стохастической атмосферы и системы океан-атмосфера.

Математическая модель отражения излучения ограниченным плоским слоем мутной среды с анизотропным рассеянием

Будак В.П. (BudakVP@mpei.ru), Козельский А.В.

Московский энергетический институт, Красноказарменная 14, 111250 Москва, Россия

Большинство природных образований, будь-то атмосфера или морская вода, имеют взвешенные частицы с размерами, существенно превышающими длину волны, что приводит к анизотропному рассеянию света на них. При сильной анизотропии рассеяния решение краевых задач уравнения переноса излучения (УПИ) любым численным методом становится неэффективным. Представляется, что речь идет о сложностях принципиального характера, связанных с математической некорректностью решения УПИ в этом случае. В методе сферических гармоник (СГ) плохо обусловленная матрица приводит к сильным осцилляциям в решении, в методе Монте-Карло обратное рассеяние является маловероятным событием с большим весом. В малоугловом приближении (МУП) обратное рассеяние находится методом возмущений, что делает точность расчетов эквивалентной точности транспортного приближения.

В настоящей работе предлагается подход, в котором на основе численного решения УПИ находится разность ΔL между точным решением УПИ и МУП. Поскольку МУП содержит все особенности точного решения, то указанная разность является гладкой функцией, численное нахождение которой не должно представлять проблем. Тип и аналитическая форма МУП определит характер используемого численного метода. Возьмем за исходное малоугловое приближение в форме Goudsmit-Saunderson, которая аналитически представляется в виде ряда по сферическим гармоникам, что соответственно определяет в качестве численного метода метод СГ.

Сущностью метода является разложение искомой разности ΔL и индикатрисы рассеяния по сферическим функциям, что приводит к бесконечной системе дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами. Для решения система делается конечной, полагая все коэффициенты разложения ΔL , начиная с номеров больших некоторого N равными нулю. Полученная конечная система допускает аналитическое

решение через матричную экспоненту. Это приводит к системе из $N/2$ линейных алгебраических уравнений для искомых коэффициентов разложения ΔL по сферическим функциям. Недостающие $N/2$ уравнений определяются из граничных условий, которые берутся в форме Маршака с учетом вычитания МУП из решения.

Гладкость решение получаемой системы требует почти на порядок меньше уравнений, чем при использовании классического метода СГ [1, 2], особенно при наклонных углах падения излучения. Для нахождения световых полей в вертикально неоднородной среде слой разбивается на несколько однородных слоев, для совокупности которых формируется общая система уравнений. Гладкость решения допускает такое разбиение на большее число слоев, чем в случае классического метода СГ. Это же обстоятельство позволяет сформулировать и решать систему уравнений на случай учета поляризации излучения, но в этом случае проще использовать граничные условия Марка.

На базе предложенного метода разработана математическая модель отражения от плоского слоя неоднородной мутной среды с анизотропным рассеянием и произвольными условиями отражения на границах: диффузное и зеркальное отражение и пропускание. Модель реализована в системе The MathWorks® Matlab v.6.5 Release 13, предоставляющий простой интерфейс к любым матричным операциям. Время счета на компьютере с процессором Intel Pentium IV 2.4 ГГц при любых входных данных не превышало 30 секунд. Для определения связи оптических характеристик среды с микрофизическими (функция распределения частиц по размерам и показатель преломления частиц) программа была дополнена результатами теории Ми в форме de Rooij-van der Star, позволяющей непосредственно вычислять коэффициенты разложения индикатрисы рассеяния по сферическим функциям.

Численное моделирование позволило выявить выраженную зеркальную компоненту в индикатрисе отражения излучения от слоя без границ при скользких углах падения. Точность моделирования и время счета не зависят от оптической толщины слоя. При изотропном рассеянии с увеличением оптической толщины слоя результаты расчетов переходят в решение Амбарцумяна.

1. Dave J.V. A direct solution of the spherical harmonics approximation to the radiative transfer equation for arbitrary solar elevation. Part I: Theory. *J. Atm. Sci.*, 1975, **32**, 790-798.
2. Benassi M., Garcia R.D.M., Karp A.H., Siewert C.E. A high-order spherical harmonics solution to the standard problem in radiative transfer. *Astrophys. J.*, 1984, **250**, 1, 853-864.

Решение уравнения переноса излучения с сильно вытянутой индикатрисой

Киселев В.Б. (kisselev@spiiiras.nw.ru)

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, 14-я линия В.О. 39, 199178 Санкт-Петербург, Россия

Численное решение уравнения переноса излучения в средах, характеризующихся сильно вытянутой индикатрисой, представляет определенные трудности. При переходе к уравнениям для сферических гармоник интенсивности рассеянного излучения возникает необходимость использования полиномов высокой степени для аппроксимации зависимости фурье-образов индикатрисы, являющихся ядром интегрального члена в этих уравнениях, от косинуса полярного угла. Высокие степени полиномов ядра требуют, в свою очередь, большого количества узлов сетки при дискретизации интегрального члена, поскольку в противном случае традиционно применяемая в большинстве численных методов гауссова схема не обеспечивает сохранения полного потока излучения, что приводит к существенному снижению точности решения. Затраты процессорного времени с увеличением количества узлов сетки резко возрастают, и при необходимости многократного решения уравнения, как, например, для решения обратных задач методом итераций, использование традиционных методов становится затруднительным.

Построение консервативной, т.е. обеспечивающей сохранение полного потока, схемы решения уравнения переноса при произвольном количестве точек сетки возможно на основе метода конечных элементов. Полученные этим способом разностные уравнения для фурье-гармоник интенсивности в плоско-параллельной стратифицированной среде дают возможность выполнять решение с точностью около 1% в случае сильно вытянутых индикатрис (индикатриса Хеньи-Гринштейна с параметром $g = 0.95$; атмосферные индикатрисы для "городского" и "сельского" аэрозоля) при небольшом количестве узлов (48 узлов). В среднем затраты процессорного времени в методе конечных элементов при равной точности вычислений уменьшаются примерно в 10 раз по сравнению с методом дискретных ординат.

Хотя метод конечных элементов позволяет существенно повысить скорость расчета отдельных гармоник интенсивности в случае сильно вытянутых индикатрис, количество гармоник, необходимых для получения с требуемой точностью значения интенсивности, остается достаточно большим. Основной причиной здесь является наличие пика в азимутальном распределении нисходящей радиации, а также восходящей радиации при зеркальном отражении от подстилающей поверхности, что имеет место при дистанционном зондировании водоемов. В формирование этого пика значительный вклад вносит многократное рассеяние, так что исключение однократного рассеяния из численного решения не приводит к существенному сокращению необходимого количества гармоник. Оказывается возможным при определенных допущениях получить аналитическое решение уравнения переноса, учитывающее процесс многократного рассеяния и для сильно вытянутых индикатрис и весьма мало отличающееся от точного решения в достаточно широкой области вблизи пика интенсивности. Это решение используется следующим образом. Исходная сильно вытянутая индикатриса представляется в виде суммы двух индикатрис, одна из которых имеет острый пик в рассеянии вперед и пренебрежимо малые значения при больших углах, а вторая – значительно менее вытянута, чем исходная. Для первой из них используется полученное аналитическое решение, а уравнение переноса со второй индикатрисой решается численно. Итоговое решение формируется в виде комбинации этих двух решений. Вследствие меньшей вытянутости второй индикатрисы требуется меньшее количество гармоник при численном решении, и суммарное время расчета существенно сокращается.

Новый подход к моделированию переноса излучения в конечных оптически толстых слоях

Сушкевич Т.А. (tamaras@keldysh.ru), Владимирова Е.В.

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Миусская пл. 4, 125047 Москва, Россия

Рассматривается краевая задача переноса излучения в оптически толстых конечных плоских слоях, описывающих, в частности, облачность, аэрозольные выбросы, дымовые шлейфы, образующиеся под воздействием обширных пожаров (лесных, торфяных, степных, техногенных). Для таких сред пространственные и угловые распределения излучения внутри слоя, а также отраженное и пропущенное излучение, формируются в результате многократного рассеяния излучения при наличии поглощения.

Итерационным методом характеристик с ускоряющими процедурами рассчитаны поля излучения внутри и вне слоя, на который падает внешний мононаправленный поток, для большого набора оптических моделей с разными толщинами слоев, индикатрисами рассеяния, альбедо акта однократного рассеяния, отвечающими консервативному рассеянию (без поглощения), слабому, среднему и сильному поглощению. Для тех же моделей проведены расчеты на основе асимптотических решений. С помощью современных графических и визуальных средств исследовано установление по толщине слоя асимптотического режима для восходящих и нисходящих потоков, а также угловых

распределений и азимутальной симметрии. По угловым распределениям рассчитаны азимутальные гармоники. Исследован вопрос о применимости и погрешности асимптотических решений уравнения переноса.

Предложен новый подход к моделированию переноса излучения в толстых слоях на основе метода функций влияния. Вводится внутренняя граница, разделяющая слой на две области. В одной области функция влияния рассчитывается как полное решение плоской задачи, а в другой – как асимптотическое решение, или как решение азимутально-симметричной задачи, или как полное решение кинетического уравнения. Суммарное излучение в слое и за его пределами находится с помощью матричного функционала – оптического передаточного оператора, ядрами которого являются функции влияния каждой из областей. В роли коэффициентов отражения и пропускания внутренней границы используются передняя и задняя полусферы индикатрис рассеяния.

Такой подход позволяет моделировать поля излучения в широком диапазоне вариаций оптических характеристик слоев, анализировать механизмы формирования радиационных характеристик внутри и вне слоев, а также оценивать вклад каждой из областей. При этом значительно точнее рассчитываются отраженное излучение и распределения радиационных характеристик внутри слоя вблизи границы, на которую падает внешний поток.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект 03-01-00132).

Построение эффективных методов решения прямых и обратных многомерных краевых задач теории переноса излучения на основе использования общих соотношений инвариантности

Роговцов Н.Н. (rogovtsov@bntu.by)

Белорусский Нац. Технический Университет, пр. Ф. Скорины 65, Минск 220013, Республика Беларусь

Общие аналитические методы, конструкции, понятия и полученные на их основе аналитические (или полуаналитические) представления закономерностей процесса переноса излучения в дисперсных средах различной конфигурации для случая произвольной индикатрисы рассеяния имеют значительный теоретический и практический интерес. Такого рода представления, во-первых, можно применять для установления смещенности или несмещенности статистических оценок, используемых в разнообразных вариантах метода Монте-Карло. Во-вторых, они необходимы при проведении тестирования численных методов, предназначенных для решения многомерных задач теории переноса излучения. В-третьих, в отличие от метода Монте-Карло и численных методов, данные представления позволяют выявлять свойства решений краевых задач теории переноса излучения в виде явных и обозримых функциональных зависимостей. В-четвертых, исследование всевозможных асимптотических режимов практически невозможно осуществить без применения аналитических методов и процедур. В-пятых, использование в явной аналитической форме различного рода соотношений и решений исходных уравнений теории переноса излучения зачастую приводит к эффективному решению обратных задач оптики дисперсных сред. В-шестых, общие аналитические методы, конструкции и понятия во многих случаях указывают пути уменьшения размерности (по числу переменных и параметров) исходной проблемы, а также позволяют находить их решения (или оценки для них) посредством использования информации о свойствах решений существенно более простых задач теории переноса излучения.

Одним из наиболее общих аналитических методов, обладающим всеми отличительными чертами и достоинствами, перечисленными выше, является подход, основанный на использовании общих соотношений инвариантности (GIR). Эти GIR представляют собой соотношения, которые связывают между собой решения различных или однотипных краевых задач для уравнения переноса излучения (УПИ) и являются

следствиями свойств инвариантности полей излучения по отношению к полугрупповым операциям определенных типов. Использование данного подхода позволило получить следующие результаты: найдены точные и приближенные (с априорной оценкой точности) аналитические выражения для различных характеристик полей излучения, формирующихся и сформировавшихся в дисперсных средах невогнутой формы, содержащих распределенные или точечные источники; исследованы асимптотические режимы полей излучения в оптически толстых слоях, шаре, цилиндрических телах, облучаемых сосредоточенными источниками излучения; получены нижние и верхние оценки для интенсивности излучения, средних интенсивностей излучения, потоков излучения, светимостей и т.д. для случая невогнутых дисперсных сред; выведены асимптотики для светимостей оптически толстых почти консервативно рассеивающих сред, ограниченных гладкими невогнутыми поверхностями и содержащих произвольные источники излучения; предложен новый вариант метода инвариантного погружения, позволяющий сводить краевые задачи для УПИ для случая дисперсных сред сложной формы к решению задач Коши (данный метод пригоден для применения без предположения об однородности этих сред и позволяет учитывать наличие подстилающих поверхностей); предложен эффективный и корректный алгоритм отыскания показателя поглощения дисперсной среды по анализу формы импульса, выходящего из нее. Все перечисленные результаты справедливы, по крайней мере, для квадратично суммируемых или гильбертовских индикатрис рассеивания и эффективно могут использоваться для анализа закономерностей процесса многократного рассеяния света в дисперсных средах различной конфигурации.

В докладе будет описана общая схема, использование которой позволило получить указанные выше результаты, и на примере рассмотрения ряда многомерных задач для УПИ будет показана эффективность применения подхода, основанного на GIR. В частности, будут приведены асимптотические выражения для характеристик полей излучения, сформировавшихся в оптически толстых консервативно или почти консервативно рассеивающих дисперсных средах невогнутой формы, облучаемых сосредоточенными источниками.

Применение свойств инвариантности и теории непрерывных дробей для эффективного решения характеристического уравнения теории переноса излучения для случая произвольной индикатрисы рассеяния

Роговцов Н.Н. (rogovtsov@bntu.by), Боровик Ф.Н.

Белорусский Нац. Технический Университет, пр. Ф. Скорины 65, Минск 220013, Республика Беларусь

Одним из исходных уравнений теории переноса излучения (ТПИ) является характеристическое уравнение, свойства решений которого приходится учитывать при разработке различных (особенно аналитических) методов решения краевых задач ТПИ. Более того, корректный качественный и количественный анализ закономерностей многократного рассеяния света в дисперсных средах практически невозможен без использования информации об этих свойствах. Поскольку многие дисперсные среды характеризуются сильно анизотропными индикатрисами рассеяния, то представляет интерес разработка эффективных методов решения характеристического уравнения ТПИ для случая "произвольной" индикатрисы рассеяния, т.е. без использования предположения о их полиномиальности.

В рамках допущений о гильбертовости или квадратичной суммируемости индикатрисы рассеяния предложен эффективный метод решения приведенных характеристических уравнений ТПИ. Он основан на использовании биективных соответствий, существующих между решениями данных характеристических уравнений и бесконечных линейных систем алгебраических уравнений с трехдиагональными матрицами, а также на учете свойства инвариантности формы данных систем по отношению к операции удаления любого

конечного числа этих уравнений, начиная с первого. Кроме того, при разработке данного метода были приняты во внимание основополагающие теоремы теории непрерывных дробей, была построена бесконечная система полиномов Штурма и было проведено математическое обоснование корректности использования процедуры.

С помощью разработанного метода получены удобные для численных расчетов аналитические представления для собственных функций приведенных характеристических уравнений и нормировочных интегралов (их знание необходимо, например, при использовании метода Кейса и исследовании глубинных режимов полей излучения в дисперсных средах). Был также построен обоснованный алгоритм отыскания дискретного спектра уравнения переноса излучения. Все использованные в данном методе вычислительные процедуры корректны и позволяют находить указанные функции и величины с наперед заданной точностью для любой индикатрисы рассеяния, представимой в виде ряда Фурье по системе полиномов Лежандра.

Указанный метод позволяет не только найти решение характеристического уравнения ТПИ в замкнутой форме, но и дает возможность с использованием аналитических свойств преобразования Фурье и непрерывных бесконечных дробей отыскивать в явном виде функции Грина уравнения переноса излучения для бесконечной плоскопараллельной среды для случая неполиномиальных индикатрис рассеяния. Следует отметить, что аналитические выражения для данных функций Грина являются исходными для получения асимптотик для характеристик полей излучения, сформировавшихся в дисперсных средах различной конфигурации (например, средах, имеющих форму слоя, шара, сфероида, цилиндра, невогнутого тела и т.д.), содержащих распределенные и сосредоточенные источники.

Моделирование переноса поляризованного излучения в системе атмосфера-океан

Зега Э.П. (eleonor@zege.bas-net.by), Кацев И.Л., Прихач А.С., Чайковская Л.И.

Институт физики им. Б.И. Степанова НАНБ, Скорина 68, 220072 Минск, Белоруссия

В течение последних лет постоянно возрастает интерес к переносу поляризованного излучения в Системе Атмосфера-Океан (САО) в связи с использованием поляризации в методах спутникового и лазерного зондирования атмосферы и океана. К настоящему времени уже существует ряд кодов для расчета переноса поляризованной радиации в САО, но все они не обеспечивают быстродействия, необходимого для оперативной обработки данных, и используют упрощенные модели атмосферы и океана.

В настоящем докладе будут представлены новые подходы к проблеме моделирования переноса поляризованного излучения. Двухкомпонентный метод решения векторного уравнения переноса обобщает соответствующую скалярную технику, разработанную авторами ранее [1]. Этот метод сводит задачу решения векторного уравнения переноса в среде с реальной сложной матрицей Мюллера к решению 2-х векторных уравнений с более простыми матрицами, одно из которых записано для сильно-анизотропного рассеяния, а второе для среды со сравнительно гладкой индикатрисой. В докладе будет также кратко представлена разработанная аналитическая теория переноса поляризованного излучения в средах с сильной анизотропией рассеяния, построенная как теория возмущений с малыми параметрами, характеризующими вероятность рождения новой поляризации в акте однократного рассеяния.

Одной из особенностей САО является наличие взволнованной поверхности океана, необходимость учета которой создает дополнительные трудности моделирования переноса излучения. Мы представляем новый метод включения поверхности с ветровым волнением в модель переноса.

Развитые подходы определили архитектуру нового быстрого и точного кода для расчета параметров Стокса рассеянного излучения в САО. Код рассчитывает все 16

элементов матрицы Грина проблемы и параметры Стокса в любой точке САО. Такая же точность расчета, как и в других используемых кодах, обеспечивается за малую долю времени, необходимого для других программ. Это утверждение доказывается сопоставлением полученных результатов с данными наиболее надежных и известных кодов. Расчеты проводятся для реалистических моделей стратифицированного океана с взволнованной поверхностью (изотропное и направленное волнение) и стратифицированной аэрозольно-газовой атмосферы.

Перечисленные свойства делают развитый код эффективным инструментом для решения многих задач.

1. Zege E.P., Katsev I.L., and Polonsky I.N. Multicomponent approach to light propagation in clouds and mists. *Appl. Opt.*, 1993, **32**, 15, 2803-2812.

Линеаризованная векторная модель переноса радиации в атмосфере МСС++ для приложения в дистанционном зондировании атмосферы и моделирования спектральных наблюдений

Постыляков О.В. (ovp@ifaran.ru)

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский 3, 109017 Москва, Россия

Опыт применения моделей переноса радиации для задач дистанционного зондирования атмосферы показал, что эффективное и быстрое определение содержания газов и аэрозолей в атмосфере оптическими методами требует расчетов не только радиационных характеристик (таких как интенсивность, яркость, поток и пр.), но также производных радиационных характеристик по исследуемым характеристикам состава атмосферы (см., например, [1]). Названные производные принято называть также весовыми функциями при разработке методов восстановления и решении обратных задач, или факторами воздушной массы в методах дифференциальной спектроскопии. Еще одно применение производные радиационных характеристик могут найти для быстрого моделирования спектральных измерений.

В последнее время появился ряд работ, описывающих различные подходы к одновременному вычислению радиационных характеристик атмосферы и их производных по набору параметров атмосферы (см. короткие обзоры в [2, 3]). Радиационные модели, одновременно решающие уравнение переноса относительно радиационных характеристик и их производных, получили название линеаризованных. Накопленный опыт показывает, что такой подход может существенно сократить компьютерное время вычисления, затрачиваемое на нахождение производных, так что интерпретация дистанционных измерений состава атмосферы с использованием рассеянного солнечного излучения становится возможной в реальном времени.

В докладе приводится обзор существующих линеаризованных моделей переноса излучения в атмосфере. Рассматривается линеаризованная сферическая векторная модель переноса МСС++, основанная на методе Монте-Карло [4]. Кратко излагается подход к линеаризации модели МСС++ [2, 3], основанный на идеях работы [4], приводятся результаты сравнений названной модели с моделями других авторов [5, 6, 7], рассматриваются некоторые приложения модели в дистанционном зондировании [2, 6, 8, 9, 10, 11].

1. Rozanov VV, Diebel D, Spurr RJD, Burrows JP. GOMETRAN: A radiative transfer model for the satellite project GOME, the plane parallel version. *J Geophys Res*, 1997, **102**, 16683-95.
2. Постыляков О.В. Модель переноса радиации в сферической атмосфере с расчетом послойных воздушных масс и некоторые ее приложения. *Известия РАН, Физика атмосферы и океана*, 2004, **40**, 3, 319-334.
3. Postylyakov O.V. Linearized vector radiative transfer model MCC++ for spherical atmosphere. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 2004 (accepted).
4. Марчук Г.И., Михайлов Г.А., Назаралиев М.Н. и др. Метод Монте-Карло в атмосферной оптике. Новосибирск: Наука, 1976, 283 с.
5. Postylyakov O.V., Yu.E. Belikov, Sh.S. Nikolaishvili, A. Rozanov. A comparison of radiation transfer algorithms for modelling of the zenith sky radiance observations used for determination of stratospheric trace gases and aerosol

- IRS 2000: Current Problems in Atmospheric Radiation, W. L. Smith and Yu. M. Timofeyev (Eds.). A. Deepak Publishing, Hampton, Virginia, 2001, 885-888.
6. Postlyakov O.V. Radiative transfer model MCC++ with evaluation of weighting functions in spherical atmosphere for usage in retrieval algorithms. *Adv. Space Res.*, JASR 6746, 2004, (in press).
 7. Loughman R.P., E. Griffioen, L. Oikarinen, O.V. Postlyakov, A. Rozanov, D.E. Flittner, D.F. Rault. Comparison of radiative transfer models for limb-viewing scattered sunlight measurements. *J. Geophys. Res.*, 2004, 2003JD003854R, (accepted).
 8. Postlyakov O.V., A.S. Elovkov, I.B. Belikov, A.I. Igaev, N.F. Elansky. Opportunities of TROICA train observations to validate satellite observations. *Proc. Quadr.Ozone Symp.* 2004 (in press).
 9. Postlyakov O.V., J. Lenoble, I.V. Mitin. Effect of polarization on UV sky radiance during twilight. *Proc. Quadr.Ozone Symp.* 2004 (in press).
 10. Postlyakov O.V., C.S. Zerefos, E. Kosmidis, I.V. Mitin. The Brewer Umkehr algorithm for ozone profile retrieval: a complete account of multiple scattering of light. *Proc. Quadr.Ozone Symp.* 2004 (in press).
 11. Ugolnikov O.S., O.V. Postlyakov, I.A. Maslov. Effects of multiple scattering and atmospheric aerosol on the polarization of the twilight sky *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 2003 (accepted).

Расчет трансверсальных моментов распределения многократно рассеянных фотонов в плоском слое земной атмосферы, облучаемом лазерным лучом, нормально падающим на границу слоя

Николайшвили Ш.С. (shota_nick@mail.ru), Ростомашвили З.И.
Ин-т физики им. Э.Л. Андроникашвили АНГ, ул. Тамарашвили 6, 0177 Тбилиси, Грузия

Предложена численная модель светового ореола, образуемого вокруг лазерного луча в плоском слое вертикально стратифицированной земной атмосферы при нормальном падении луча на одну из границ слоя. Модель основана на приближенном решении односкоростного интегрального уравнения переноса. Зависимость рассчитываемого поля от азимутального угла направления фотонов аппроксимируется тригонометрическим интерполяционным многочленом. Распределения нерассеянных, однократно рассеянных и двукратно рассеянных фотонов вычисляются отдельно, с применением по необходимости формул численного интегрирования. Общая разностная схема используется для расчета распределений фотонов, испытавших не менее трех рассеяний. Модель предназначена для решения задач в рассеивающих и поглощающих средах с сильной анизотропией рассеяния, представляемой в общем случае непрерывной кусочно-линейной функцией косинуса угла рассеяния. Предполагается, что атмосфера содержит аэрозольные частицы нескольких типов с различными оптическими характеристиками. Высотное распределение их концентраций, а также сечения молекулярного и аэрозольного светорассеяния и сечения поглощения фотонов задаются непрерывными кусочно-линейными функциями. Верхняя граница атмосферы свободна от внешнего облучения. Локальные особенности искомого поля исследованы в работе [1]. Краткое описание модели и некоторые результаты выполненных по ней расчетов в приближении двукратного рассеяния приведены в работе [2].

Доклад посвящен расчету важных радиационных характеристик плоского слоя рассеивающей и поглощающей среды, связанных с определением размеров световых пятен, наблюдаемых на границах облаков и подобных неоднородностей в атмосфере вокруг точек, лежащих на пути нерассеянных фотонов [3, 4]. Эти характеристики представляются отношением трансверсальных моментов второго и нулевого порядков от четырех функций, описывающих радиальные распределения: (а) вертикальной составляющей тока фотонов на нижней и верхней границах слоя; (б) интенсивностей отраженного и прошедшего через слой излучений в направлениях внешних нормалей к границам слоя.

Расчет упомянутых трансверсальных моментов сводится, в общем случае, к последовательному решению трех пространственно-одномерных задач типа стандартных краевых задач радиационного переноса в плоском слое. В предельном случае слоев малой оптической толщины их решения представляются с помощью элементарных функций.

К докладу прилагаются графики функций $\langle \rho^2 \rangle / \Delta_z^2$ в зависимости от оптической толщины слоя τ в интервале от $\tau = 0$ до $\tau = 80$; $\langle \rho^2 \rangle$ означает здесь отношение второго и

нулевого трансверсальных моментов, соответствующих одному из четырех (а) или (б) радиальных распределений, Δ_z – геометрическая толщина слоя. Графики построены по результатам наших расчетов в предположениях чисто рассеивающей среды и сферической индикатрисы рассеяния. Для той же среды и при $\tau > 1$ значения функций $\langle \rho^2 \rangle / \Delta_z^2$, соответствующих двум (а) радиальным распределениям и радиальному распределению интенсивности отраженного от нижней границы излучения в противоположном лазерному лучу направлении, были рассчитаны в работе [4]. Взятые из этой работы кривые зависимости $\langle \rho^2 \rangle / \Delta_z^2$ от τ при достаточно больших τ хорошо совпадают с графиками, построенными по нашим результатам.

Предложенный подход легко обобщается на расчеты последующих четных трансверсальных моментов.

1. Николайшвили Ш.С., Ростомашвили З.И. К расчету яркости ореола вокруг лазерного луча в атмосфере Земли. Труды Ин-та им. И. Н. Векуа, Изд-во ТГУ Тбилиси, 1998, **48**, 90-128.
2. Смеркалов В.А., Г.Ф. Тулинов, Ш.С. Николайшвили, З.И. Ростомашвили. Лазерно-ореольный метод определения оптических и микроструктурных характеристик атмосферного аэрозоля. Исслед. Земли из космоса, 2004, 2, 3-9.
3. Романова Л.М. Распространение узкого пучка света в стратифицированном облаке: Трансверсальные моменты высших порядков. Физика атмосферы и океана, 2001, **37**, 6, 811.
4. Davis A., A. Marshak, R. Cahalan, and W. Wiscombe. The Landsat scale-break in stratocumulus as a three-dimensional radiation transfer effect: Implications for cloud remote sensing. J.Atmos.Sci., 1997, **54**, 241-260.

Деполяризация многократно рассеянного света в мутных средах с крупными частицами

Городничев Е.Е. (gorod@theor.mephi.ru), Кузовлев А.И., Рогозкин Д.Б.
Московский инженерно-физический институт, Каширское ш. 31, 115409 Москва, Россия

В докладе обсуждается приближенный метод расщепления векторного уравнения переноса и результаты расчёта параметров Стокса для мутных сред с крупномасштабными рассеивателями.

Хотя исследованию многократного рассеяния света в последние двадцать лет уделяется много внимания, объяснение поляризационных эффектов в мутных средах с неоднородностями различного масштаба остается актуальной проблемой. Новый импульс изучению поляризационных эффектов дали эксперименты на модельных средах и соответствующие данные статистического моделирования. В частности, были обнаружены существенные различия в деполяризации линейно и циркулярно поляризованного света [1, 2].

Теоретическое объяснение этих эффектов [3] основано на представлении о "геометрическом" и "динамическом" механизмах деполяризации света; при рассеянии на крупномасштабных неоднородностях эти механизмы удастся выделить в явном виде, что позволяет развить приближенную схему расщепления векторного уравнения переноса.

"Геометрический" механизм деполяризации обусловлен "рытовским" поворотом плоскости поляризации при искривлении светового луча в среде [3], а "динамический" – вызван сдвигом фаз кросс-поляризованных волн при рассеянии (деполяризация циркулярно поляризованного света имеет только "динамическую" природу). Расщепление векторного уравнения переноса становится возможным благодаря разнице в скоростях "геометрического" и "динамического" процессов. В ведущем приближении векторное уравнение переноса распадается на три независимых уравнения для основных мод – интенсивности, циркулярной моды (четвертого параметра Стокса) и линейной моды (комбинации второго и третьего параметров Стокса). Уравнения для основных мод имеют вид скалярного уравнения переноса с соответствующими эффективными показателями. В следующем приближении учитывается взаимодействие между основными модами и

возникают дополнительные моды – обертоны (источниками для обертонов являются основные моды).

В докладе обсуждаются расчеты параметров Стокса в глубинном режиме. Все результаты даны в виде явных аналитических выражений. Представлены также результаты численных расчетов по теории Ми входящих в параметры Стокса материальных коэффициентов (амплитуд, показателей затухания и др.) и результаты сравнения с данными экспериментов [1, 2].

1. Bicot D., C. Brosseau, A.S. Martinez, J.M. Schmitt. Depolarization of multiply scattered waves by spherical diffusers: Influence of the size parameter. *Phys.Rev.*, 1994, **E49**, 1767.
2. Sankaran V., M.J. Everett, D.J. Maitland, J.T. Walsh. Comparison of polarized-light propagation in biological tissue and phantoms. *Opt.Lett.*, 1999, **24**, 1044.
3. Городничев Е.Е., Кузовлев А.И., Рогозкин Д.Б. Диффузия циркулярно-поляризованного света в неупорядоченной среде с крупномасштабными неоднородностями. *Письма в ЖЭТФ*, 1998, **68**, 21; Depolarization of light in small-angle multiple scattering in random media. *Laser Phys.* 1999, 9, 1210; Depolarization of light in scattering media with large-scale inhomogeneities. *IRS 2000: Current Problems in Atmospheric Radiation*, W.L.Smith and Yu.M.Timofeev (Eds.). A.Deepak Publishing, Hampton, Virginia, 287–290; Малоугловое многократное рассеяние поляризованного света в мутных средах. *Изв.РАН, ФАО*, 2003, **39**, 371.

Математическая модель поляризации солнечного излучения в сферической системе атмосфера-океан

Гаврилович А.Б. (gavril@dragon.bas-net.by)

Институт физики им. Б.И. Степанова НАНБ, Скорина 68, 220072 Минск, Белоруссия

Теоретическое моделирование поля солнечной радиации, рассеянной воздушной и водной оболочками системы атмосфера-океан (САО), основывается на решении векторного уравнения переноса излучения. Проблема переноса и поляризации оптического излучения в САО еще далека до своего полного решения. Она предполагает учет большого числа параметров, определяющих характер взаимодействия света со средой как внутри, так и на ее границах, включая границу раздела сред воздух-вода. Поэтому в теории переноса широкое распространение получили приближенные методы, основанные на введении различных упрощающих предположений, таких, например, как плоская геометрия среды, отсутствие рефракции света, однократное взаимодействие света с френелевской границей раздела и др. Известные приближенные математические модели переноса и поляризации света в атмосфере и океане не в состоянии адекватно передать картину поляризационных характеристик рассеянного излучения.

В данном докладе приводится модель переноса и поляризации солнечного излучения, развиваемая нами. Модель учитывает сложную структуру аэрозольной экстинкции и газового поглощения, включая слои вулканического происхождения, анизотропию отражения от подстилающей поверхности и ветровое волнение на поверхности океана, оптические свойства водной среды. Атмосферная рефракция и преломление света на границе раздела воздух-вода учитывается согласно предложенной автором процедуре введения в модель переноса параметра кривизны пространства. Поляризующие свойства среды описываются средневзвешенной матрицей Мюллера, изменяющейся соответственно вертикальному профилю молекулярного и аэрозольного рассеяния. Решения уравнения переноса для компонент вектора Стокса при учете поляризации излучения рассматриваются в построенном автором конечномерном функциональном G-пространстве.

Новая модель неравновесного излучения средней атмосферы в ИК колебательно-вращательных полосах водяного пара

Мануйлова Р.О. (Rada.Manulova@pobox.spbu.ru), Янковский В.А.

НИИ физики Санкт-Петербургского государственного университета, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Гусев О.А., Кутепов А.А. (kutepov@usm.uni-muenchen.de)

Институт Астрономии и Астрофизики Мюнхенского университета, Мюнхен, Германия

Представлена новая модель колебательной кинетики молекулы H_2O в условиях средней атмосферы. В модели учитываются 14 колебательных состояний, 54 процесса колебательно-поступательных (V-T) и колебательно-колебательных (V-V) обмена энергией при столкновениях H_2O с N_2 , O_2 и O , важных для атмосферных условий. На базе новых экспериментальных данных проведен тщательный анализ возможных значений констант скоростей неупругих столкновительных процессов. Рассматриваются 32 колебательно-вращательные полосы, формирующие 1.4, 1.9, 2.7, 3.2, 4.7 и 6.3 мкм полосы водяного пара. В дополнение к спектроскопической информации, содержащейся в базе данных HITRAN-96, были рассчитаны частоты и интенсивности 9 колебательно-вращательных полос, с тем чтобы создать полную базу спектроскопических данных по всем рассматриваемым 32-м колебательно-вращательным полосам. Расчеты неравновесных населенностей колебательно-вращательных состояний с использованием эффективного метода ускоренных лямбда-итераций дали возможность корректно рассмотреть перенос радиации и поглощение солнечного излучения для всех спектральных линий 32 колебательно-вращательных полос. Квазирезонансный обмен колебательной энергией между состояниями H_2O (010) и первым возбужденным колебательным состоянием O_2 , O_2 ($v = 1$), является одним из важных процессов, влияющих на населенность H_2O (010). Колебательно-возбужденный кислород возникает вследствие фотолиза озона и кислорода. Наша модель образования O_2 ($v = 1$) базируется как на учете процесса прямого формирования колебательно-возбужденного кислорода в фундаментальном электронном состоянии при фотолизе, так и на анализе процессов релаксации других продуктов фотолиза O_3 и O_2 , а именно ($\text{O}(^1\text{D})$, $\text{O}_2(a^1\Delta g, v)$, $\text{O}_2(b^1\Sigma_g^+, v)$).

Представлены рассчитанные населенности колебательных состояний молекулы водяного пара для средней атмосферы, а также примеры спектров лимбового излучения, рассчитанные для условий эксперимента CRISTA. Обсуждается зависимость населенностей колебательных состояний молекулы H_2O и спектров лимбового излучения средней атмосферы в 6.3 мкм полосе водяного пара от констант скоростей неупругих столкновительных процессов.

Полуэмпирическая модель среднеглобальной температурной структуры земной термосферы для переменного содержания углекислого газа

Швед Г.М. (shved@pobox.spbu.ru), Семенов А.О.

НИИ физики Санкт-Петербургского государственного университета, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Повышение температуры с высотой в термосферах планет обусловлено тем, что тепловое инфракрасное излучение как механизм охлаждения атмосферы начинает эффективно действовать только в относительно плотной атмосфере. В земной термосфере в удалении поглощенной энергии солнечного ультрафиолетового излучения доминирует излучение в 15 мкм полосе CO_2 . Как эффективный механизм охлаждения, это излучение начинает действовать, начиная с высот около 120 км. Вариации отношения смеси CO_2 в

термосфере влияют на ее температурную структуру: с его ростом термосфера становится холоднее.

Среднеглобальная температурная структура планетной термосферы (на примере земной термосферы) впервые описана с помощью метода подобия: в модель введены безразмерные функции и параметры. Предложена полуэмпирическая модель среднеглобальной температурной структуры термосферы Земли для переменных содержания CO_2 в атмосфере и температуры мезопаузы. Для объемного отношения смеси CO_2 в нижней атмосфере, принадлежащего диапазону значений от $3.6 \cdot 10^{-5}$ до $3.6 \cdot 10^{-3}$, и температуры мезопаузы в диапазоне 130–215 К с учетом вариаций солнечной активности получены формулы, характеризующие перепад температуры от мезопаузы до верхней термосферы и давление на мезопаузе. При удвоении отношения смеси CO_2 модель предсказывает падение температуры верхней термосферы от примерно 70 К при низком уровне солнечной активности до примерно 110 К при высоком.

Также исследовано, как точность оценки скорости выхолаживания термосферы излучением в 15 мкм полосе CO_2 влияет на моделирование температурной структуры термосферы.

Моделирование лунного сияния, обусловленного рассеянием излучения Солнца и Земли

Хохлов В.Н. (Khokhlov@soi.spb.ru)

ФГУП ВНЦ ГОИ им. С.И. Вавилова, Биржевая линия 12, 199034 Санкт-Петербург, Россия

Излучение Луны в коротковолновом диапазоне (0.15–4.0 мкм) формируется за счёт отражения лунной поверхностью прямого и отражённого Землёй солнечного излучения. Яркость освещенной Солнцем части лунного диска определяется лунной фазой, а яркость пепельного света Луны (Earthshine) – свечение темной части лунного диска – фазой Земли. Сияние Луны, освещённой Солнцем, является одним из источников ночного излучения атмосферы, а пепельный свет Луны используется для определения вариаций глобального альбедо Земли.

В работе выполнено моделирование рассеяния лунной поверхностью солнечного и земного излучения на основе аналитического решения сферической задачи [1, 2]. Представлены результаты решения геометрической проблемы, позволяющие вычислить распределение по лунной поверхности яркости рассеянного излучения Солнца и Земли и создаваемую лунным сиянием освещенность земной атмосферы на различных высотах при произвольных условиях наблюдения в области спектра 300–2500 нм. Расчёты выполнены с учётом влияния земной атмосферы в предположении чисто молекулярного рассеяния.

Представлены данные о спектральном распределении освещенностей, создаваемых светлой и тёмной частями лунного диска, вблизи земной поверхности. Качественное сопоставление результатов теоретических расчётов распределения по диску Луны яркости рассеянного излучения Солнца с данными наземных фотографических наблюдений показывает хорошее совпадение ориентации и размера освещённой солнцем части лунного диска для различных лунных фаз.

Расчёты яркости лунной поверхности и освещённости лунным сиянием земной атмосферы на различных высотах показывают сложный характер вариаций этих оптических характеристик. Часть вариаций определяется условиями освещения лунной поверхности прямым и отраженным от Земли солнечным излучением и зависит от лунной и земной фазы. Короткопериодические вариации обусловлены изменениями (за счёт вращением Земли) зенитного угла наблюдения Луны и зависят от свойств земной атмосферы. Амплитуда и положение максимума вариаций зависят от положения лунного годографа.

Расчеты яркости пепельного света Луны показывают, что наиболее выгодными моментами для его наблюдений являются периоды между 3–8 и 25–29 днями лунации. При

этом предпочтительнее лунации, в которых минимальные зенитные углы Луны в месте наблюдений приходятся на эти периоды.

1. Хохлов В.Н Релеевское рассеяние в атмосферах планет с неоднородным распределением температуры и альbedo поверхности. *Оптический журнал*, 2001, **68**, 2, 26-32.
2. Хохлов В.Н Результаты моделирования релеевского рассеяния в атмосфере Земли при неоднородном распределении температуры и альbedo на её поверхности. *Оптический журнал*, 2001, **68**, 2, 33-40.

Высшие коротковолновые асимптотики метода плавных возмущений. Численное моделирование и сравнительный анализ

Илюшин Я.А., Куницын В.Е. (kunitsyn@phys.msu.ru)

Физический фак-т МГУ им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы, 119992 Москва, Россия

В докладе в рамках метода плавных возмущений (МПВ) [1] рассмотрена асимптотика волнового поля в среде с большими плавными неоднородностями. В случае плоской и сферической падающей волны получены решения в виде однократных быстро осциллирующих интегралов. Построены коротковолновые асимптотические приближения найденных решений [2]. Впервые исследованы асимптотики поля высших порядков до третьего порядка включительно.

Области применимости полученных асимптотик исследованы путём сравнения с эталонным точным решением задачи рассеяния для сферически симметричных рассеивателей с размерами порядка сотен длин волн. Показано, что учёт высших асимптотик приводит к улучшению точности приближения лишь в тех случаях, когда уже и первое приближение обеспечивает удовлетворительное качество аппроксимации. В тех случаях, когда первое приближение плохо аппроксимирует рассеянное поле, учёт высших асимптотик не приводит к улучшению точности. Установлено, что первое приближение имеет наиболее широкую область практической применимости. Путём численного моделирования показано, что в случае рассеяния метровых волн на типичных неоднородностях ионосферы первое приближение обеспечивает удовлетворительную для практики точность аппроксимации.

Таким образом, первое приближение является наиболее универсальным среди рассмотренных приближений и наиболее целесообразным для практического применения в ряде задач дистанционного зондирования атмосферы и ионосферы.

Настоящая работа была частично поддержана грантами РФФИ 2003 г. 02-05-65350 и 03-05-06301.

1. Татарский В.И. Распространение волн в турбулентной атмосфере. М.: Наука, 1967.
2. Куницын В.Е., Терещенко Е.Д. Томография ионосферы. М.: Наука, 1991.

Метод Т-матриц и теория представлений группы вращений в задачах рассеяния ансамблями несферических частиц

Парамонов Л.Е. (param@ktk.ru), Абдулкин В.В.

Красноярский государственный технический университет, Киренского 26, 660074 Красноярск, Россия

Рассматривается приложение теории представлений группы вращений к задачам однократного рассеяния света несферическими частицами.

Следуя [1], получены канонические базисы в пространстве решений векторного уравнения Гельмгольца, преобразующиеся по неприводимым представлениям при вращении пространства и системы координат. Показано, что независимо от способа задания вращения (пространства, системы координат, относительно подвижных или неподвижных осей) канонический базис остается неизменным. Необходимость нахождения базисов обусловлена, во-первых, тем, что отечественные [1-3] и зарубежные авторы [4] используют различные способы задания вращения; во-вторых, выбор адекватного решаемой задаче канонического базиса во многом определяет эффективность решения и позволяет определить

преобразование при вращении оптических характеристик. В зависимости от способа задания вращения элементы матриц неприводимого представления являются обобщенными сферическими функциями [1-3] или D-функциями Вигнера [4-5].

Применение канонических базисов в методе Т-матриц, а также использование СР-представления вектора напряженности электрического поля позволяет провести факторизацию (разделение переменных падающего, рассеянного излучений и ориентации частиц) в амплитудной матрице рассеяния, матрице Мюллера, матрице экстинкции.

Полученные результаты являются основой для разработки эффективных аналитических методов расчета и решения классов задач однократного рассеяния, связанных с ориентационным усреднением, оценкой потоков в произвольных телесных углах при произвольной геометрии и поляризации некогерентного падающего излучения.

1. Любарский Г.Я. Теория групп и ее применения в физике. М., Гостехиздат. 1957.
2. Гельфанд И.М., Минлос Р.А., Шапиро З.Я. Представления группы вращений и группы Лоренца и их приложения. М., Физматгиз. 1958.
3. Виленкин Н.Я. Специальные функции и теория представлений групп. М., Наука. 1991.
4. Edmonds A.R. Angular momentum in quantum mechanics. Princeton, N.J., Princeton University Press. 1957.
5. Варшалович Д.А., Москалев А.Н., Херсонский В.К. Квантовая теория углового момента. Л., Наука, 1975.
6. Waterman P.C. Symmetry, unitarity and geometry in electromagnetic scattering/ *Phys. Rev. D.*, 1971, 3, 825-839.

Уравнение нейтральных точек

Пузанов Ю.В. (ietc@yandex.ru)

ГУП МосНПО "Радон", 7-й Ростовский пер 2/14, 119121 Москва, Россия

Со времени открытия нейтральных точек Бабине, Брюстера и Араго их происхождению и свойствам уделяется достаточное количество внимания. Однако физическая интерпретация эффекта нейтральных точек оставляет желать лучшего. Чаще всего наличие нейтральных точек объясняется влиянием многократного рассеяния и альбедо земной поверхности. Безусловно, эти факторы оказывают определенное воздействие на формирование и характеристики нейтральных точек, но, как показано в докладе, не от них зависит наличие или отсутствие рассматриваемого явления. Не они обуславливают существование нейтральных точек!

Существование нейтральных точек зависит от того, каким образом и в каком соотношении распределены в среде рассеивающие центры аэрозольного и релеевского типа. Для солнечного излучения в чисто релеевской атмосфере при небольших оптических толщинах менее 1 нейтральные точки отсутствуют, если не считать направление на Солнце и антисолярное направление. Нейтральные точки возникают по тем направлениям визирования, для которых выполняется условие оптического равновесия между аэрозольной и молекулярной фракциями рассеивающей среды. В качестве весовых множителей в этом условии используются вторые внедиагональные элементы релеевской и аэрозольной матриц рассеяния.

В докладе формулируется интегральное уравнение, одним из решений которого является функция, указывающая координаты нейтральных точек. Точечные значения этой функции в плоскости солнечного вертикала соответствуют именным точкам Брюстера, Бабине и Араго. Однако по виду уравнения можно сделать вывод, что существуют непрерывные интервалы угловых координат, для которых уравнение нейтральных точек сохраняет свою силу. Это означает, что, кроме упомянутых именных точек, на небесной сфере существуют отрезки непрерывных линий с нулевой поляризацией, так называемые нулевые изополяры. По виду уравнения можно объяснить и другие известные свойства нейтральных точек.

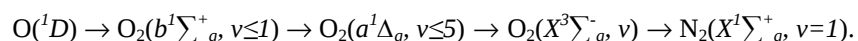
Каналы термализации продуктов фотодиссоциации O_2 и O_3 в средней атмосфере

Янковский В.А. (Valentine.Yankovsky@paloma.spbu.ru), Кулешова В.А.
НИИ физики Санкт-Петербургского государственного университета, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Основным продуктом фотодиссоциации O_2 в континууме Шумана-Рунге и линии Ly- α и фотолиза O_3 в полосе Хартли являются возбужденные атомы кислорода. Этот уровень является метастабильным, поэтому атом можно рассматривать как "временный резервуар энергии", которая перераспределяется при столкновительно-радиационных процессах по различным каналам. Только незначительная доля энергии атомов $O(^1D)$ излучается (менее 1%), основная часть энергии в результате столкновений либо термализуется, либо передается молекулам $O_2(b^1\Sigma_g^+, v=0)$, которые в свою очередь частично излучают в полосе 762 нм, а частично также термализуются. Такой "двухуровневый" подход $O(^1D) \rightarrow O_2(b^1\Sigma_g^+, v=0)$ реализован в работе [1], и до сих пор является общепринятым.

Однако, современная фотохимическая модель существенно сложнее [2]. Она включает в рассмотрение передачу энергии от атомов $O(^1D)$ колебательно-возбужденным молекулам $O_2(b^1\Sigma_g^+, v=1)$ с последующей передачей энергии молекулам $O_2(b^1\Sigma_g^+, v=0)$ и $O_2(a^1\Delta_g, v=0)$. Кроме этого в фотолизе озона образуются молекулы $O_2(a^1\Delta_g, v \leq 5)$, энергия которых передается молекулам $O_2(a^1\Delta_g, v=0)$ и далее $O_2(X^3\Sigma_g^-, v)$. На всех этапах трансформации энергии возможны радиационно-столкновительные потери энергии, часть энергии при этом термализуется.

В данной работе впервые рассмотрена "многоуровневая" модель переноса энергии и термализации между продуктами фотодиссоциации O_2 и O_3 по схеме:



Полученные результаты существенно отличаются от предыдущей "двухуровневой" модели термализации. Суммарная эффективность термализации атома $O(^1D)$ с учетом всех процессов, рассмотренных в "многоуровневой" модели, в интервале высот 95–120 км выше на 9–12%, чем в "двухуровневой" модели [1]. В интервале высот 60–90 км расчет по нашей модели дает эффективность нагрева атмосферы меньше на 10%, чем в [1]. В работе получена детальная картина трансформации энергии возбуждения продуктов фотолиза O_2 и O_3 в средней атмосфере в зависимости от высоты во всех рассмотренных выше каналах.

1. Harris R.D. and Adams G.W. Where does the $O(^1D)$ energy go? *J. Geoph. Res. A*, 1983, **88**, A6, 4918-4928.
2. Янковский В.А. и Мануйлова Р.О. Новая самосогласованная модель дневных эмиссий $O_2(a^1, v)$ и $O_2(b^1, v)$ в средней атмосфере. Восстановление вертикального профиля озона из измеренных профилей интенсивности этих эмиссий. *Оптика атмосферы и океана*, 2003, **16**, 7, 582-586.

Оценка воздействия планетарных волн на скорость охлаждения верхней мезосферы и нижней термосферы за счет излучения в 15 мкм полосе CO_2

Огибалов В.П. (vpo@lmura.phys.spbu.ru), Погорельцев А.А., Швед Г.М.
НИИ физики Санкт-Петербургского государственного университета, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Скорость охлаждения атмосферы за счет теплового инфракрасного излучения определяется особенностями вертикального профиля температуры в некотором слое атмосферы около рассматриваемого высотного уровня. Как правило, оценки этой скорости выполняются для сглаженных климатологических профилей температуры, тогда как наблюдаемые профили демонстрируют возмущения температуры, обусловленные распространением в атмосфере волн разного масштаба и разномасштабной турбулентностью.

Для слоя 70-120 км впервые приведены оценки тех изменений в охлаждении атмосферы излучением в 15 мкм полосе CO_2 , являющихся главным механизмом охлаждения рассматриваемого слоя, которые вызываются распространением планетарных волн. Исследовано воздействие планетарных волн (собственные колебания атмосферы и экваториальные волны), для которых в средней атмосфере наблюдается наибольшие амплитуды.

Широтно-высотные распределения амплитуды и фазы колебаний температуры в волнах были получены с использованием линеаризованной двухмерной модели глобальных волн от поверхности земли до примерно 165 км. Модель была прокалибрована по существующим наблюдениям волн и дала следующие максимальные порядки амплитуды температуры в рассматриваемом слое – 15 К для ультрабыстрой экваториальной волны Кельвина с периодом 3.5 суток, 8 К для 10-суточной волны, 5 К для 2- и 16-суточных волн и 2 К для 5-суточной волны.

Рассчитывалось изменение средней за период волны скорости лучистого охлаждения. Получено, что это изменение может иметь любой знак. Но доминирующим эффектом распространения волны является увеличение скорости охлаждения атмосферы. Волна Кельвина может обеспечить в нижней термосфере увеличение скорости охлаждения вплоть до $\sim 10\%$ от скорости лучистого охлаждения атмосферы невозмущенной волной, а по абсолютной величине – увеличение вплоть до ~ 0.5 К/сутки. Ощутимый тепловой эффект других планетарных волн представляется проблематичным, а воздействие 5-суточной волны определенно является пренебрежимо малым.

Численное моделирование результатов оптических измерений в рассеивающей сферической атмосфере и производных от них по параметрам среды (компьютерный код SCATRD)

Васильев А.В. (vsa@lich.phys.spbu.ru)

НИИ физики Санкт-Петербургского государственного университета, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Одной из существенных составных частей современных схем дистанционного зондирования атмосферы и подстилающей поверхности является физико-математическая модель измерений соответствующих характеристик поля излучения и ее конкретная реализация в виде компьютерного кода. При этом можно говорить о моделях и кодах двух типов: предназначенных для обработки данных конкретных приборов и предназначенных для научного исследования задач дистанционного зондирования, разработки новых методик и схем проведения измерений и интерпретации их результатов. Для исследовательских задач основным критерием становится не скорость работы кода, а его гибкость и универсальность – способность моделировать измерения поля излучения в разных спектральных диапазонах с учетом или отсутствием учета различных факторов, в частности, сферичности атмосферы. Также существенным требованием к исследовательской модели и коду является необходимость вычислять производные от моделируемых величин по параметрам атмосферы и подстилающей поверхности.

Для решения указанных научно-исследовательских задач разработана физико-математическая модель переноса излучения в сферической атмосфере с учетом его рассеяния и отражения от поверхности. Модель реализована в виде компьютерного кода SCATRD.

В коде SCATRD использован принцип математического моделирования объектов реальности, согласно которому все входные данные кода рассматриваются именно как описание соответствующих моделей (атмосферы, измерительного прибора и т.п.). В результате имеется принципиальная возможность гибкого использования различных типов указанных моделей. При этом каждой модели соответствует независимый от других входной файл. Практически все параметры управления вычислениями (например, определяющие

точность), вынесены из текста кода в специальный файл, что дает возможность свободно менять их без изменения текста кода и его перетрансляции. Это позволяет с легкостью исследовать зависимость моделируемых величин от указанных "внутренних" параметров вычислительного алгоритма.

В текущей версии кода SCATRD моделируются измерения функции пропускания атмосферы и интенсивности рассеянного солнечного излучения в сферической атмосфере, а также производные от них по параметрам атмосферы. Высота и направление визирования могут быть любые, т.е. код создан как универсальный для различных схем зондирования в сферической атмосфере – лимбового, сумеречного и т.п. Кроме того, можно отключить учет сферичности, используя код для задач зондирования, где достаточно приближение плоской атмосферы. Можно, соответственно, и исследовать влияние сферичности на результаты моделирования. Рассеяние и отражение от поверхности в текущей версии учитывается в приближении однократной диффузности. Поляризация и рефракция не учитываются. В модели атмосферы рассматривается молекулярное и аэрозольное рассеяние, соответственно, вычисляются производные по профилям объемных коэффициентов аэрозольного рассеяния и поглощения и параметрам аэрозольной индикатрисы рассеяния. В качестве моделей поверхности используются изотропная и идеальная зеркальная.

Приведены примеры расчетов характеристик поля излучения и их производных, а также сравнения результатов работы кода SCATRD с данными других авторов.

Точное аналитическое решение уравнения переноса излучения в дисперсной среде с произвольной матрицей рассеяния

Гаврилович А.Б. (gavril@dragon.bas-net.by)

Институт физики им. Б.И. Степанова НАНБ, Скорина 68, 220072 Минск, Белоруссия

Современные проблемы атмосферной радиации, лазерного зондирования атмосферы и океана, оптики дисперсных сред вызывают острую необходимость развития аналитических методов решения векторного уравнения переноса излучения (ВУПИ) в среде с реальной матрицей рассеяния. Проблема многократного рассеяния света системой случайно ориентированных несферических частиц аэрозоля является одной из наиболее сложных проблем атмосферной оптики. Трудности математического описания взаимодействия света с такой системой частиц многократно возрастают, если необходимо учитывать поляризацию излучения. Однако именно в такой постановке формулируют наиболее важные задачи оптической диагностики среды. Их решение позволило бы получить богатую информацию о микроструктуре, оптических константах вещества, компонентном составе аэрозоля, форме и ориентации частиц в пространстве. Из-за многопараметричности и сложности механизмов взаимодействия света с частицей, решение задач поляризационной диагностики среды до настоящего времени базируется на численных методах и грубых аналитических аппроксимациях. Численные данные, полученные приближенными методами, затрудняют объективный анализ геометрических и физических факторов, определяющих поляризационные свойства рассеянного оптического излучения. Поэтому в настоящее время все большее внимание уделяется развитию методов, основанных на использовании аналитических решений. Главная трудность аналитического решения ВУПИ, как известно, связана с необходимостью учета бесконечно большого числа слагаемых в разложениях по обобщенным сферическим функциям. Для атмосферного аэрозоля, например, хорошая аппроксимация фазовой функции достигается при числе членов более 400. Аналитические решения уравнения переноса удастся найти при учете лишь нескольких первых членов ряда. Такие решения очень идеализированы и во многих случаях не позволяют получать физически правильные результаты. Например, метод сферических гармоник приводит к большим погрешностям в области малых углов рассеяния. Метод малоуглового

приближения, наоборот, игнорирует очень важную информацию в области больших углов рассеяния.

Разработанный автором новый метод решения ВУПИ, представленный в настоящем докладе, свободен от указанных недостатков. Он предполагает отказ от использования бесконечной системы обобщенных сферических функций и переход к новому базису ортогональных G -функций, образующих конечномерное функциональное пространство. Высокая чувствительность поляризационных эффектов к свойствам частиц предъявляет очень высокие требования к предлагаемому методу, именно: решения ВУПИ должны содержать полную информацию, содержащуюся в реальной матрице рассеяния. В качестве объекта исследования рассмотрен трехмерный объем дисперсной среды, заполненный несферическими случайно ориентированными частицами. Точное аналитическое решение ВУПИ получено в виде конечного ряда в классе функций конечномерного G -пространства.

СЕКЦИЯ 2. РАДИАЦИОННАЯ КЛИМАТОЛОГИЯ

Председатель: д.ф.-м.н. **О.М. Покровский** (ГГО, Санкт-Петербург)

Сопредседатель: к.г.н. **Н.Е. Чубарова** (МГУ, Москва)

Климатические ресурсы солнечной радиации в Москве во второй половине XX века по наблюдениям Метеорологической обсерватории МГУ

Шиловцева О.А. (farom@gol.ru), Абакумова Г.М., Горбаренко Е.В., Незваль Е.И.
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геогр. фак., метеорологическая
обсерватория, Воробьевы Горы, 119992 Москва, Россия

Исследования климатических ресурсов солнечной радиации в различных регионах актуальны в связи с проблемой использования Солнца в качестве естественного источника энергии, а также его светового и климатического воздействия.

1 января 1954 г. начала свою работу Метеорологическая обсерватория МГУ (МО МГУ). К 50-летию юбилею коллектив МО МГУ выпустил Справочник эколого-климатических характеристик г. Москвы. В нем, наряду с метеорологическими параметрами, приведены характеристики радиационного и светового режима Москвы.

В МО МГУ ведутся измерения солнечной радиации в различных участках спектра и естественной освещенности земной поверхности, ежедневно проводятся наблюдения за количеством и формой общей (N_O) и нижней (N_H) облачности в светлое время суток. Кроме того, систематизируются данные наблюдений при безоблачном небе, разрабатываются различные косвенные методы оценки ультрафиолетовой (УФР) и фотосинтетически активной (ФАР) радиации и естественной освещенности (E) по данным наблюдений за прямой ($S'_{ир}$), суммарной ($Q_{ир}$), рассеянной ($D_{ир}$) интегральной радиацией, продолжительностью солнечного сияния ($ПСС$), облачностью и альбедо земной поверхности. Проанализирован обширный материал по оптическим характеристикам атмосферы (коэффициент интегральной прозрачности атмосферы P_2 , аэрозольная оптическая толщина $\tau_{\alpha\lambda 0}$ для длины волны 550 нм).

В Справочнике представлены данные о солнечной радиации, освещенности, продолжительности солнечного сияния, облачности, характеристиках прозрачности атмосферы не только за весь период наблюдений, но и за период 1961–1990, рекомендованный ВМО для расчета климатических норм метеорологических характеристик, а также за последнее десятилетие XX века:

Средние годовые значения балла облачности и характеристик прозрачности атмосферы, годовые суммы продолжительности солнечного сияния, солнечной радиации и естественной освещенности земной поверхности

PCC	N_O	N_H	P_2	$\tau_{\alpha\lambda 0}$	$S'_{ир}$	$D_{ир}$	$Q_{ир}$	R^*	B^*	A^*	$Q_{УФР}$	$Q_{ФАР}$	E_Q
Начало наблюдений, год													
1955	1954	1954	1955	1955	1958	1958	1958	1958	1958	1958	1968	1980	1964
Единицы измерений													
час	балл		-		МДж/м ²					%	МДж/м ²		Млк•ч
До 2000													
39	7.6	5.8	0.715	0.20	1598	2055	3653	920	1266	25	153	1736	113
1961-1990													
38	7.6	5.7	0.709	0.22	1585	2075	3660	920	1258	25	-	-	-
1991-2000													
39	7.8	6.1	0.729	0.16	1636	2005	3641	902	1278	25	159	1788	118

* R – отраженная радиация, B – радиационный баланс, A – альбедо

В целом за весь период наблюдений наибольший приход за месяц суммарной интегральной ($Q_{\text{ир}} = 769 \text{ МДж/м}^2$) и УФР ($Q_{\text{УФР}} = 32 \text{ МДж/м}^2$) радиации наблюдался в июне 1968 г., а суммарной ФАР ($Q_{\text{ФАР}} = 374 \text{ МДж/м}^2$) и количества освещения ($E_Q = 24 \text{ Млк}\cdot\text{ч}$) – в июне 1999 г.

Во второй половине XX века отмечается тенденция к росту облачности, связанная с увеличением повторяемости циклонических процессов и ростом города. Это обусловило статистически незначимое уменьшение прихода солнечной радиации. Статистически значимой оказалась только тенденция к уменьшению годовых сумм отраженной радиации, обусловленная увеличением повторяемости оттепелей в течение зимы, более ранним таянием и более поздним установлением снежного покрова в результате глобального и регионального повышения температуры воздуха.

Световой климат Москвы по наблюдениям Метеорологической обсерватории МГУ

Шиловцева О.А. (farom@gol.ru)

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геогр. фак., метеорологическая обсерватория, Воробьевы Горы, 119992 Москва, Россия

Данные о естественной освещенности земной поверхности необходимы для расчета величины освещения помещений, для оценки видимости объектов и многих других прикладных задач.

Для измерения суммарной (E_Q) и рассеянной (E_D) естественной освещенности в метеорологической обсерватории МГУ (МО МГУ) в начале 1960-х годов по инициативе Т.В. Евневич мастером по точным приборам А.В. Высоцким был сконструирован фотометр – регистратор естественной освещенности (РЕО МГУ). С 1964 г. и по настоящее время им в МО МГУ ведется непрерывная регистрация суммарной и рассеянной освещенности. Погрешность измерений естественной освещенности РЕО МГУ составляет 10–12%.

Обобщение наблюдений за освещенностью за 1964–2000 гг. показало, что для **суточного хода** суммарной освещенности характерно наличие небольшой асимметрии относительно полудня, особенно в весенне-летнее время. В течение года околорасположенные значения E_Q возрастают от 12 клк·ч в декабре до 70 клк·ч в июне.

Дневное количество E_Q в течение года в среднем изменяется от 34 клк·ч в декабре до 652 клк·час в июне. Облачность ослабляет E_Q в среднем на 25–50%.

Коэффициент вариации суточных сумм E_Q составил 32–36% в летнее время и 46–66% в осенне-зимнее, причем наибольшая изменчивость наблюдается в октябре и ноябре.

В различные сезоны года меняются и характеристики кривых распределения дневных сумм E_Q . Например, для месяцев с минимальной высотой Солнца и значительной повторяемостью пасмурной погоды (ноябрь–январь) характерен островершинный вид распределения с асимметрией в сторону меньших, чем средние значения, величин. Наоборот, в летние месяцы, когда преобладает хорошая погода, продолжительность дня и высота Солнца наибольшие, максимум повторяемости E_Q сдвигается в сторону превышающих средние значения сумм. Распределение, близкое к равномерному, характерны для марта, апреля и сентября. Наибольшие значения коэффициентов асимметрии и эксцесса наблюдаются в ноябре.

Основной вклад в дневное количество E_Q вносит освещение рассеянным светом: на долю E_D приходится от 54% в июне до 89% в декабре.

Типизация кривых распределения E_D показала, что для каждого месяца характер изменчивости E_Q и E_D может не совпадать. Так, в семи месяцах из двенадцати E_D имеют распределение, близкое к нормальному. Летом, когда есть кучевые облака, края которых сильно увеличивают рассеянную радиацию, наблюдается отрицательно-асимметричное

распределение E_D почти нормальной крутизны. Наиболее плосковершинным распределение E_D получилось в декабре.

В годовом ходе количество E_Q за месяц изменяется в среднем от 19.6 Млк·час в июне до 1 Млк·час в декабре, а E_D – от 10.6 Млк·час до 0.9 Млк·час соответственно. Коэффициент вариации месячных сумм E_Q меньше, чем суточных, колеблясь от 20–23% в холодное время года до 9–15% – в теплое.

Переходные коэффициенты от интегральной радиации к E_Q и E_D (L_{EQ} и L_{ED}), равные отношению количества освещения за сутки к сумме Q и D , в течение года изменяются: L_{EQ} – от 27–29 клк·час/МДж·м⁻² зимой до 30–32 клк·час/МДж·м⁻² летом, L_{ED} от 31–33 клк·час/МДж·м⁻² зимой до 34–35 клк·час/МДж·м⁻² летом.

Годовое количество E_Q колебалось от 99 в 1974 г. до 129 Млк·час в 1996 г., а E_D – от 55.2 Млк·час в 1973 г. до 79.6 Млк·час в 1993 году. Коэффициент вариации годового количества освещения суммарным светом составил 6%, а рассеянным – 8%. Вклад E_D в годовую сумму E_Q достигает 60%. Величина L_{EQ} составила 31 клк·час/МДж·м⁻², а L_{ED} – 34 клк·час/МДж·м⁻².

Таким образом, многолетние измерения с помощью РЕО МГУ позволили получить детальное представление об особенностях светового климата Москвы.

Оптические свойства атмосферы и ослабление солнечной радиации в период дымной мглы 2002 г.

Чубарова Н.Е. (chubarova@imp.kiae.ru)

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геогр. фак., метеорологическая обсерватория, Воробьевы Горы, 119992 Москва, Россия

В течение теплого периода 2002 года в центральных районах России наблюдались значительные вариации аэрозольного и газового состава в тропосфере за счет адвекции воздуха из очагов лесных пожаров в Подмоскowie. Это привело к значительным флуктуациям солнечной радиации у земной поверхности. В данной работе проведен анализ изменчивости оптических свойств атмосферного аэрозоля и радиационных потоков в двух ультрафиолетовых диапазонах спектра (300–320 нм и 300–380 нм) и в видимом диапазоне (400–700 нм) по данным измерений в Метеорологической Обсерватории (МО) МГУ и на Звенигородской биостанции МГУ в период наиболее интенсивных лесных пожаров в Московской области в VII–IX 2002 г.

Для оценки аэрозольных свойств атмосферы использовались измерения солнечным фотометром CIMEL в МО МГУ и портативным солнечным фотометром HASEMETER на Звенигородской Биостанции МГУ. Было показано, что изменения замутненности атмосферы в Москве и Звенигороде происходят синхронно, что свидетельствует о распространении дымового облака над довольно большой территорией, и согласованы с количеством пожаров в Московской области. При этом аэрозольная оптическая толщина (АОТ, 500 нм) достигала чрезвычайно больших значений (до 2.94), а повторяемость случаев с АОТ > 0.8 составляла около 24%. Отмечается также значительный рост концентрации субмикронного аэрозоля. Получены относительно высокие значения альbedo однократного рассеяния ($w_{0.673\text{нм}} = 0.92–0.95$).

Анализируется изменчивость ослабления потоков солнечной радиации за счет вариаций аэрозольных свойств атмосферы, а также ее газового состава. Было показано, что если в типичных условиях ослабление потоков солнечной радиации у земной поверхности не превышает 15–20%, то в условиях дымной мглы оно достигало 30–40% в видимом диапазоне и 70% в УФ области спектра. На основании данных измерений было показано, что в условиях дымной мглы в значительной степени изменялся и газовый состав нижней тропосферы. По данным модельных расчетов была исследована чувствительность УФ и

видимой радиации к изменению реальных концентраций наиболее оптически активных газов (озон, диоксид азота, формальдегид, диоксид серы) при разном содержании аэрозоля. Было показано, что большие концентрации диоксида азота в период дымной мглы оказывают заметное влияние на ослабление длинноволновой УФ радиации (порядка 4–8%). Для видимого диапазона (400–700 нм) влияние NO_2 не так велико, и в условиях дымной мглы дополнительное ослабление за счет этого фактора составляет в среднем около 2%. Сопоставление данных расчетов и измерений показало, что учет газового поглощения в целом улучшает сходимость между модельными и экспериментальными данными в УФ и видимом диапазонах спектра.

Влияние дымной мглы 1972 г. и 2002 г. на радиационные параметры атмосферы в Москве

Горбаренко Е.В., Абакумова Г.М., Незваль Е.И., Чубарова Н.Е., Шиловцева О.А.
(farom.gol.ru)

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геогр. фак., метеорологическая обсерватория, Воробьевы Горы, 119992 Москва, Россия

Исследовано влияние дымной мглы от лесных и торфяных пожаров, происходивших в августе 1972 г. и в июле–сентябре 2002 г. на территории Московской области и вызвавших сильное помутнение атмосферы в Москве, на прозрачность атмосферы, интегральную, ультрафиолетовую (УФР), фотосинтетически активную (ФАР) солнечную радиацию и естественную освещённость земной поверхности. Использовались наблюдения Метеорологической обсерватории МГУ (МО МГУ) при безоблачном небе. Проведено сопоставление метеорологического режима в период дымной мглы 1972 г. и 2002 г.

Измерения солнечной радиации в различных областях спектра и естественной освещённости проводились как стандартными приборами, так и приборами, разработанными в МО МГУ и распространенными на международной сети станций. Для оценок аэрозольной оптической толщины атмосферы использовались методы её восстановления по данным о прямой солнечной радиации и влагосодержании атмосферы, а также данные солнечного фотометра CIMEL, установленного в МО МГУ в рамках сети AERONET.

Дымная мгла 2002 г. оказала значительное и более сильное, чем в 1972 г., влияние на метеорологические и радиационные параметры атмосферы в силу того, что пожары в 2002 г. были более продолжительными. Она явилась причиной уменьшения прозрачности атмосферы в июле–сентябре 2002 г. В среднем за месяц наибольшее отклонение от нормы коэффициента интегральной прозрачности атмосферы P_2 (– 24%) и аэрозольной оптической толщины τ_{α, λ_0} для длины волны 550 нм (более чем в два раза) наблюдались в сентябре. Следует отметить заметный вклад рассеянного света в угол зрения актиометра и пиргелиометра Эппли в условиях дымной мглы, что приводит к недооценке (в среднем на 30%) аэрозольной оптической толщины, определённой по данным измерений приборами с углом зрения более 5 градусов.

Интенсивность дымной мглы в течение дня и в разные дни неодинакова и существенно зависит от условий погоды. И в 1972 г., и в 2002 г. в дымовом аэрозоле наблюдалось значительное преобладание числа рассеивающих частиц над поглощающими.

Наиболее сильно (на 79–86%) дымной мглой ослаблялась прямая ультрафиолетовая солнечная радиация. Ослабление прямой интегральной радиации в среднем составило 48–61%, а естественной освещённости – 50–75%. В условиях задымленности воздуха наблюдался довольно сильный рост (до 2–2.5 раз) рассеянной интегральной радиации и освещённости. Напротив, рассеянная УФР в основном ослаблялась дымной мглой и тем сильнее, чем ниже высота солнца. Аналогичные результаты получены и по результатам модельных расчетов. На их основании оцениваются причины, приводящие к указанным закономерностям. При дымной мгле отмечалось существенное уменьшение отношения

прямой интегральной радиации к рассеянной: при $h \geq 50^\circ$ в среднем в 5 раз, а при сильном задымлении более чем в 10 раз.

Потери прямой радиации в условиях дымового загрязнения атмосферы не компенсировались увеличением рассеянной радиации. В результате ослабление суммарной интегральной радиации составило 14–20%, суммарной ФАР – 16–26%, суммарной освещенности –14–28%, а суммарной УФР –32–34%.

Полученные результаты показывают, что дымная мгла оказывает влияние не только на величину, но и на спектральный состав солнечной радиации. Их следует учитывать при оценке возможных последствий воздействия пожаров на экологические системы, а также при решении проблем, связанных с охраной окружающей среды и, прежде всего, атмосферы.

Изменение мутности атмосферы на территории России в последней четверти XX века

Махоткина Е.Л. (makhotk@main.mgo.rssi.ru), Лукин А.Б.

Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

Плахина И.Н. (plakhina@ifaran.ru)

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 109017 Москва, Россия

Рассмотрены особенности изменения интегральной мутности атмосферы на территории России с 1976 по 2003 г. включительно. Анализ выполнен с использованием разработанной в Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова информационно-справочной системы "Прозрачность атмосферы", которая обеспечивает унифицированный подход к расчету как интегральных, так и аэрозольных характеристик прозрачности атмосферы. Информационная база системы, как составная часть формируемого в ГГО режимно-справочного банка данных (РСБД) "Актинометрия" с отставанием в полгода пополняется данными текущих наблюдений, поступающими со станций Росгидромета.

На основе анализа и обобщения средних месячных значений мутности и их пространственно-временных изменений на территории России выделены относительно однородные по условиям мутности атмосферы регионы. Для каждого из регионов определены особенности годового хода интегральной мутности с оценкой вклада аэрозоля и водяного пара в изменения мутности внутригодового и межгодового масштабов.

В последней четверти XX века характер пространственного распределения и внутригодового хода мутности атмосферы мало изменился по сравнению с предыдущим 25-тилетием. Наиболее высокая прозрачность атмосферы характерна для северных регионов как на азиатской, так и на европейской территории России. В целом, на территории России мутность атмосферы возрастает с севера на юг и с северо-востока на юго-запад.

В последней четверти XX века на режим прозрачности атмосферы оказали влияние два мощных вулканических извержения: Эль Чичон (апрель 1982 г.) и Пинатубо (июнь 1991 г.). Эффекты этих извержений прослеживаются во временных рядах мутности повсеместно и выражаются в резком и устойчивом повышении мутности, наступающем спустя 3–6 месяцев после извержения, и нарушении годового хода мутности, продолжающемся в течение 12–18 месяцев.

Анализ временных рядов мутности позволил выявить и количественно характеризовать периоды стабильных ("невозмущенных") состояний, когда атмосфера была относительно прозрачной: 1976–1981 гг., 1985–1990 гг., 1994–2002 гг., причем последний период еще не закончился. Во всех регионах мутность атмосферы в "невозмущенные" периоды (до извержения вулкана Эль Чичон и в период между извержениями Эль Чичон и Пинатубо) оказалась достаточно близка. После прекращения проявлений извержения вулкана Эль Чичон с 1984 г. и до извержения вулкана Пинатубо в 1991 г. мутность атмосферы приблизилась к среднему многолетнему уровню. Проявление последствий извержения вулкана Пинатубо по среднегодовым значениям мутности прекратилось с 1994 г.

Последующий период характеризуется самой высокой прозрачностью атмосферы на всей территории России, отмечавшейся в последней четверти века. Уменьшение мутности атмосферы в последние 5 лет оказалось столь существенным, что в целом для последней четверти XX века на территории России следует констатировать рост прозрачности атмосферы.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 03-05-64441).

Тенденции межгодовых колебаний оставляющих радиационного баланса и альbedo поверхности суши на территории России

Покровский О.М., Махоткина Е.Л. (makhotk@main.mgo.rssi.ru), Покровский И.О.,
Рябова Л.М.

Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

Проведен анализ линейных и короткопериодных нелинейных трендов альbedo и составляющих радиационного баланса (РБ) по данным отдельных актинометрических станций России. Для описания короткопериодных колебаний во временных рядах составляющих радиационного баланса и альbedo целесообразно использовать метод аппроксимации, основанный на алгоритме "обратных расстояний".

На основе анализа линейных трендов выявлены долговременные тенденции в изменениях климатических рядов составляющих РБ: для альbedo характерен положительный тренд в летние месяцы и отрицательный – в зимние месяцы; для радиационного баланса характерен отрицательный тренд летом и положительный – зимой; для суммарной и отраженной радиации на континентальных станциях, удаленных от океанов, характерен положительный тренд в летние и отрицательный тренд в зимние месяцы.

Короткопериодные колебания в рядах составляющих РБ, а также метеорологических параметров (температура воздуха, аномалии атмосферного давления, осадки) показывают наличие связи между атмосферными факторами и изменениями составляющих РБ. Летом повышение температуры воздуха и уменьшение осадков на континентальных станциях ведет к увеличению отраженной солнечной радиации и уменьшению радиационного баланса. Наоборот, увеличение осадков за счет усиления циклонической активности, например на северо-западе России, в летний сезон приводит к уменьшению альbedo. При этом убывание суммарной радиации влечет за собой отрицательный тренд в величинах радиационного баланса. Зимой в рядах температуры воздуха и осадков наблюдаются преимущественно положительные тренды, что объясняет уменьшение отраженной радиации и возрастание радиационного баланса.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №02-05-64757, №01-05-65283).

Восстановление альbedo системы почва-растительность по данным многоугловых и многоспектральных дистанционных измерений

Покровский О.М. (pokrov@main.mgo.rssi.ru)

Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

Рассматриваются вопросы дистанционного определения альbedo системы почва–растительность на основе эмпирических, параметрических моделей для бинаправленных функций отражения (БНФО). Анализируются пять наиболее известных эмпирических БНФО: 1) Li-sparse (reciprocal); 2) Roujean; 3) Li-sparse-Wanner (nonreciprocal); 4) Li-dense; 5) Walthall. Проведено сравнение этих моделей с точки зрения минимизации остатка регрессионной функции для 11 типов растительных поверхностей. Показано, что наилучшие результаты с точки зрения точности восстановления альbedo для большинства типов поверхностей дают первые три модели. Без учета влияния атмосферы точность

определения зависимости альбедо от высоты Солнца составляет в видимом диапазоне 5–10% и в ближнем ИК диапазоне 1–2% (абсолютные значения). Относительные значения находятся в пределах 10–30%. Представлены примеры восстановления БНФО и альбедо по данным многоугловых измерений, проведенных с помощью аппаратуры POLDER/ADEOS.

Новый метод определения оптической толщины атмосферы по фотометрическим наблюдениям Солнца

Терез Э.И. (terez@ccssu.crimea.ua)

Таврический национальный университет им.В.И. Вернадского, Ялтинская 4, 95007 Симферополь, Украина

Терез Г.А.

Крымская астрофизическая обсерватория, Научный, 98409 Крым, Украина

Разработан новый метод определения оптической толщины атмосферы (ОТА). Метод основан на предположении, что ОТА является произвольной функцией времени, но достаточно гладкой, так что любой небольшой участок этой функции может быть аппроксимирован прямой линией. В этом случае, используя метод Бугера-Лэнгли для каждого прямолинейного участка функции ОТА, можно написать n бугеровских уравнений, соответствующих n наблюдениям Солнца в данном интервале времени. При этом если $n > 3$, то для каждого прямолинейного отрезка кривой ОТА получается избыточная система бугеровских уравнений. Эта процедура последовательно применяется к каждому участку кривой ОТА, что в итоге дает $(N - n + 1)$ систем бугеровских уравнений, где N – общее число наблюдений Солнца в течение дня. Решение полученных систем бугеровских уравнений позволяет определить внеатмосферное инструментальное значение солнечного потока и параметры кривой ОТА. Точность метода зависит от точности аппроксимации кривой ОТА линейно-ломаной линией, т.е. от характера изменения ОТА со временем и общего количества наблюдений N .

Новый метод (APLS – Approximation by Linear Sections) используется при фотометрических наблюдениях Солнца в Крыму с 1996 г. По сравнению с классическим методом Бугера-Лэнгли метод APLS позволяет получить существенно большую точность, если ОТА в течение наблюдательного времени заметно меняется или наблюдения проводятся полдня, т.е. только до или после меридиана.

Линейчатая структура спектров временных изменений некоторых параметров атмосферы и солнечной радиации

Терез Э.И. (terez@ccssu.crimea.ua)

Таврический национальный университет им.В.И. Вернадского, Ялтинская 4, 95007 Симферополь, Украина

Иванов В.В.

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Науки 5, 693002 Южно-Сахалинск, Россия

Терез Г.А.

Крымская астрофизическая обсерватория, Научный, 98409 Крым, Украина

Исследованы временные спектры атмосферных параметров для некоторых станций, имеющих длинные ряды наблюдений: суммарного озона для станции Ароза, оптической плотности аэрозоля для Феодосии, температуры атмосферы для метеостанции на Сахалине (г. Александровск), а также спектры вариаций солнечной активности, взятые по данным радиоизлучения на $\lambda = 10.7$ см и числам Вольфа (для более раннего периода). Все спектры содержат большое количество узких максимумов, ширина которых определяется длительностью ряда наблюдений. Наиболее интенсивные максимумы разделяются на две

группы. К первой группе относятся линии, соответствующие периодам более 3 лет (низкочастотная группа), ко второй группе относятся линии с периодами от 2 до 0.5 лет.

Линии низкочастотной группы для всех исследованных атмосферных параметров практически совпадают с линиями спектров вариаций солнечной активности. Наиболее характерные периоды – 8.28, 10.7 и 59 лет.

Линии второй группы по значениям частот допускают интерпретацию как комбинации частоты вращения Земли вокруг Солнца и частоты некоторых линий спектра вариаций солнечной активности.

Наличие однотипных спектральных линий на вариациях температуры атмосферы, оптической плотности аэрозоля, суммарного озона и солнечной активности, соответствующих одним и тем же периодам возмущений, позволяют предположить, что основная причина, приводящая к возмущению всех слоев земной атмосферы, – это вариации солнечной активности.

Характеристики радиационного притока тепла по измерениям в приземном слое атмосферы

Елисеев А.А., Привалов В.И. (ozon@peterlink.ru), Утина З.М.

Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

Приводятся предварительные результаты прямых измерений длинноволнового радиационного притока тепла (РПТ), выполненных летом 2003 г. на Цимлянской научной базе Института физики атмосферы РАН в развитие работы [1]. Измерения РПТ *in situ* проводились посредством усовершенствованного спектрофонного приемника с квазисферическим углом зрения. Условия измерений – сверхadiaбатическая стратификация при безоблачном небе, а также при наличии кучевой облачности. Подстилающая поверхность – сухая степь с редкой сухой травой. Приемник располагался поочередно на различных высотах от 0.2 до 4 метров. Длительность серии измерений на одной высоте составляла обычно 30–60 мин. Время между единичными измерениями – от 12 до 60 сек.

Получены экспериментальные зависимости средних за серию величин РПТ от восходящей длинноволновой радиации и от суммарной радиации. Показано, что величина радиационного нагрева увеличивается с приближением к подстилающей поверхности пропорционально уменьшению логарифма высоты измерений. Так, радиационный нагрев на высоте 0.2 м в околополуденные часы составлял в среднем около 20 К/час, достигая при безоблачном небе и слабом ветре 60 К/час. По результатам единичных измерений рассчитаны автокорреляционные и кросс-корреляционные функции РПТ и сопутствующих метеозлементов.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант N 02-05-64348).

1. Елисеев А.А., Привалов В.И., Парамонова Н.Н., Утина З.М. Экспериментальное исследование притоков тепла в приземном слое атмосферы. *Изв. РАН, сер. ФАО*, 2002, **38**, 5, 574–581.

Взаимодействие радиационного режима рисового поля и атмосферы

Абдуллаев Х.М., Кратенко А.Ю. (sanigmi@albatros.uz)

Среднеазиатский научно – исследовательский гидрометеорологический институт им. В.А. Бугаева, ул. К. Максумова 72, 700052 Ташкент, Республика Узбекистан

Покровский О.М. (pokrov@main.mgo.rssi.ru)

Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

Солнечная радиация является одним из главных факторов, обуславливающих основные процессы жизнедеятельности растений. Если поток солнечной радиации над рисовым полем

и в верхних слоях его остается примерно одинаковым, то внутри него происходят заметные изменения. Особенности отражения, проникновения и поглощения потоков суммарной радиации внутри растительного покрова зависят, с одной стороны, от интенсивности и спектрального состава солнечной радиации, падающей на верхнюю границу растительного покрова, с другой стороны, от оптических свойств элементов растений, главным образом, листьев и структуры растительного покрова. Фотосинтетически активная радиация определяет "световое питание" растений, то-есть так называемый фотосинтетический эффект, влияющий на тепловой режим и морфогенез растений.

В САНИГМИ нами были разработан метод расчета потребности риса в ФАР в течение вегетации с учетом сортовых особенностей и зоны выращивания. Установлены связи между урожайностью риса и ФАР.

Растительный покров – своеобразный преобразователь солнечной радиации. Поглотив солнечную радиацию, растения превращают ее, в конечном счете, в химическую энергию образовавшихся при фотосинтезе органических веществ. Значительная часть солнечной радиации превращается в тепловую энергию, а также в собственное длинноволновое излучение растений, обмен которой с атмосферой и почвой является важным фактором формирования термического режима посевов риса и других элементов фитолимата. Целью наших исследований было изучить взаимодействие радиационного режима рисового поля и атмосферы. Эксперименты проводились на рисовых полях (сорт Авангард, среднеспелый) Узбекского Научно-исследовательского института (УЗНИИ) риса в 2002 г, такой эксперимент был проведен ранее на экспериментальной базе САНИГМИ (1993–1995 гг.). Методика наблюдений – стандартная. Измерения составляющих суммарной радиации проводились в течение вегетационного периода (апрель–сентябрь) на высотах от 0.50 до 1.25 м (через 0.25 м) в растительном покрове риса.

Проведенные эксперименты и их анализ показали, что радиационный режим рисового поля меняется в течение вегетационного периода. В начальные фазы развития растений (всходы–кущение) составляющие радиационного баланса (видимая область спектра) практически полностью доходят до нижнего уровня измерений. В последующие фазы развития растений (выметывание) слой с наибольшим поглощением составляющих радиационного баланса смещается вверх, в результате чего на уровне измерений 0.50 м доходит до 83–85% (суммарная и прямая радиация) и 50% (рассеянная радиация и радиационный баланс). В области спектра ФАР ослабление составляющих радиационного баланса увеличивается в среднем на 5–10%. Отмечено, что в фазу "полная спелость" на уровне измерений 0.75 м (высота растений 1.00 м) ослабление суммарной радиации доходит до 92–95%, а на уровне измерений 0.50 м полностью поглощается растительным покровом риса.

Получены коэффициенты перехода от видимой радиации к ФАР для составляющих радиационного баланса. Данные коэффициенты изменяются как в течение вегетационного периода, так и на различных уровнях измерений. Так для суммарной радиации этот коэффициент составляет 0.445–0.460; для прямой радиации на горизонтальную поверхность – 0.410–0.443; для рассеянной радиации – 0.440–0.510 и для радиационного баланса – 0.285–0.500. Из полученных данных видно, что наиболее изменчив коэффициент перехода от видимой радиации к ФАР для рассеянной радиации и радиационного баланса.

Следует отметить, что суточный ход составляющих радиационного баланса рисового поля имеет свои особенности по сравнению с другими культурами, которые связаны с агротехникой его возделывания. Максимальных значений составляющие радиационного баланса достигают в полдень местного времени, но из-за наличия 15–20 см слоя воды на поле ослабление составляющих радиационного баланса сглаживается на 10–15% по сравнению с такими культурами как хлопчатник, кукуруза.

Таким образом, радиационный режим рисового поля в различных участках спектра имеет некоторые особенности связанные с размещением посевов, поглощательной способностью листьев и т.д. Данные по приходящей и поглощенной солнечной радиации в

растительном покрове риса, имеют большое значение для разработки оптимальных структур сельскохозяйственных посевов и их защиты от вредных воздействий солнечной радиации. Эти данные позволяют в дальнейшем подготовить рекомендации по оптимальному использованию ФАР для повышения урожайности риса.

О радиационном и тепловом режиме обычного и подпленочного посева хлопчатника

Абдуллаев А.К. (sanigmi@albatros.uz), Турапов И.Т., Холбаев Г.Х., Кутлимуратов Х.Р.,
Пулатов У.Ш.

*Среднеазиатский научно – исследовательский гидрометеорологический институт им. В.А. Бугаева,
ул. К. Максумова 72, 700052 Ташкент, Республика Узбекистан*

Фундаментальные исследования по микроклиматологии, формированию радиационного и теплового баланса посевов продуктивности растений явились основой для решения многих проблем и задач агрометеорологии, в том числе а) изучение закономерностей формирования радиационно-теплового режима в зависимости от состояния растительного покрова и условий взаимодействия культур; б) установление количественных зависимостей роста, развития и формирования продуктивности растений от факторов окружающей среды; в) выяснение роли мульчирования поля на водный и тепловой режим; г) оценка роли прозрачности атмосферы на формирование урожая хлопчатника.

В современной агрометеорологии необходимо расширить исследования в биологическом аспекте, который слабо изучен, поскольку нет заметного прогресса в совершенствовании методов расчетов турбулентного режима растительности, расчета испарения с недостаточно увлажненной или мульчированной почвы, оценок скорости поглощения влаги и элементов минерального питания корневой системой растений.

Для выяснения влияния суммарной радиации и радиационного баланса на формирование урожая хлопка-сырца были установлены количественные связи, которые оказались достаточно устойчивыми ($r = 0.81-0.93$), и на их основе найдены критерии оценок. По расчетам эффективность использования радиации хлопчатником в хлопкосеющих районах Узбекистана составляет 2.8–3.0%, что соответствует хорошим урожаям. Установлены количественные зависимости между интенсивностью роста листовой поверхности и продуктивностью хлопчатника. Выявлена устойчивая связь между поглощающей способностью хлопчатника и содержанием хлорофиллов и связь между поглощением листьями зеленых лучей в области спектра 550 нм и содержанием сумм хлорофиллов.

В Узбекистане достаточно накоплено научно-обоснованных приемов возделывания хлопчатника путем мульчирования почвы, которые по сравнению с обычными приемами приводят к изменению энергетического режима приземного слоя воздуха, режима запасов продуктивной влаги в корнеобитаемом слое почвы, а также изменению агрохимических и микробиологических свойств почвы, что в конечном итоге оказывает влияние на прохождение периодов роста и развития растений, ускоряет созревание элементов продуктивности и способствует получению стабильного высокого урожая хлопка-сырца. По материалам экспериментов установлено, что за вегетационный период сумма активных температур (выше 10°C) почвы на глубине 20 см под растениями с пленками и без пленки составляет для: 1) орошаемых луговых почв под пленкой – 4630°C, без пленки – 4200°C их разность – 430°C; 2) староорошаемых типичных сероземов под пленкой – 4935°C, без пленки – 4435°C, их разность – 500°C; 3) в условиях орошаемых такырных почв под пленкой – 5100°C, без пленки – 4140°C, их разность – 960°C. Выявлено, что в период укрытия почвы пленкой, то есть от посева до цветения (снятия пленки) под хлопчатником в слое почвы 0–20 см в среднем может быть аккумулировано тепла на 22–25% больше в зависимости от состава почвы.

В заключение отметим, что в дальнейшем при разработке новых методик прогноза урожая сельскохозяйственных культур с высокой оправдываемостью (95–100%) необходимо не только использовать закономерности радиационного режима подстилающей поверхности, но и учитывать физиолого-биохимические процессы, дающие возможность глубже понять происходящее в надземных и подземных частях растений.

Особенности изменения составляющих радиационного баланса на территории Республики Молдова

Мангул И.Д. (mangul@hidromet.meteo.md), Казак В.Я., Сыпченко Л.Ю., Мангул С.И.
Гос. Гидрометеорологическая Служба Республики Молдова, ул. Гренобля 193, 2043 Кишинев, Молдова

Покровский О.М.

Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

Для решения задач, связанных с адаптацией человеческой деятельности к условиям меняющегося климата, возникает необходимость в оценке изменения отдельных его показателей. Так государственные стандарты и нормативные документы, выполняющие роль технических регламентов, включают в себя и актинометрические характеристики. Эти документы периодически актуализируются. При этом возникает необходимость учитывать происходящие изменения составляющих радиационного баланса.

В связи с этим, целью нашей работы явилось выявление тенденции изменения радиационного режима на территории Республики Молдова. Исходной информацией послужили данные Государственной Гидрометеорологической Службы Молдовы за период наблюдений с 1980 по 2003 год.

Для характеристики изменения составляющих радиационного баланса нами были рассчитаны их среднемесячные и среднесезонные суммы наблюдаемого периода, а также их статистические характеристики. Были построены линии трендов и рассчитаны уравнения этих трендов по сезонам года. Построен также график годового хода составляющих радиационного баланса.

Согласно расчетам, на исследуемой территории наиболее высокие значения солнечной радиации (солнечная радиация и ее изменения выражены в мДж/м^2) приходятся на суммарную радиацию. При этом максимум отмечается в июле (656), минимум – в декабре (80). Вдвое меньше солнечной радиации приходится на рассеянную радиацию (55–280). Отраженная радиация повторяет годовой ход суммарной и рассеянной радиации, а ее абсолютные значения равны половине значений рассеянной радиации (30–130).

Диапазон изменений среднемесячных сумм *суммарной радиации* составил, в среднем за период, 575 (от 80 в декабре до 656 в июле). При этом за период наблюдений амплитуда месячных сумм суммарной радиации колебалась от 58 до 777. Коэффициент вариации равнялся 10–20%, ошибка средней составила 1.0–3.5. В сезонном разрезе, за исключением осенних месяцев, отмечалось увеличение суммарной радиации. Ежегодный ее рост составил: весной – 4.4; летом – 9.5; зимой – 1.9. В осенние месяцы ежегодное понижение составило 1.8. Изменение сумм сезонных значений суммарной радиации варьировало в следующих пределах: 285–437 зимой; 1082–1498 весной; 1631–2005 летом и 660–985 осенью. Средняя годовая сумма суммарной радиации за весь период наблюдений составила 4282 при экстремальных ее значениях 3898 и 4631.

Рассеянная радиация изменялась в значительных пределах. Суммы среднемесячных значений ее колебались от 55 в декабре до 290 в июле. В период наблюдений месячное значение рассеянной радиации опускалось до 35, а максимальное значение ее достигало 345. Средняя сумма годовых значений рассеянной радиации за период наблюдений составила 2134 при разбросе ее значений от 238 до 1815. Коэффициент вариации средней составил 10%, ошибка средней была равна 7. Согласно уравнениям трендов в течение периода

наблюдалось уменьшение рассеянной радиации. Ежегодное ее падение составило: 0.7 зимой; 2.3 и 2.7 весной и осенью и 3.8 летом. В сезонном разрезе диапазон изменчивости сумм рассеянной радиации составил: зимой – 160–290; весной – 585–795; летом – 668–956; осенью – 329–470. Ошибка средних значений равнялась 1.5–3.5, коэффициент вариации – около 10%.

Месячные суммы *прямой солнечной радиации* изменялись в течение года от 25 в январе, до 360 в июле. При этом абсолютный минимум месячных сумм равнялся 12, а абсолютный максимум – 530. Средняя сумма годовых ее значений составила 2140 при изменении в пределах всего периода наблюдений от 1863 до 2643. Коэффициент вариации был равен 10–15%, ошибка среднего значения – 12. В сезонном разрезе диапазон изменений составил: для зимних месяцев – 140; для весенних и летних – 400 и для осенних – 230. Коэффициент вариации изменялся в пределах 10–30%, ошибка средней составила 2–6. Согласно уравнениям трендов наблюдался рост прямой солнечной радиации. Ежегодный прирост ее значений равнялся: осенью и зимой соответственно 1.0 и 2.5; весной и летом – 7.6 и 14.0. Годовое количество прямой радиации к 2003 году увеличилось на 25.2 по сравнению с 1980 годом, началом периода наблюдений.

Суммы среднемесячных значений *отраженной радиации* изменялись в пределах 30–130. Минимальное количество ее (12) наблюдалось в феврале, максимальное – в июне (160). Согласно расчетам, в весенние и зимние месяцы происходило уменьшение отраженной радиации, весной на 0.21, зимой на 0.26 ежегодно. В летние и осенние месяцы, наоборот, наблюдался ее рост, который равнялся соответственно 0.84 и 0.48 в год. Разброс сезонных значений отраженной радиации колебался от 100 летом и осенью до 200 зимой и весной. Средняя сумма годовых значений отраженной радиации составила 995. При этом минимальное ее значение равнялось 858, а максимальное – 1157. Ошибка средних значений равна 4, а коэффициент вариации – 10–20%.

Радиационный баланс также варьировал в значительных пределах от отрицательных значений месячных сумм в декабре и январе (– 11 и – 16) до максимальных в июле (364). Амплитуда изменений сумм среднемесячного радиационного баланса составила 462 (минимум – 44, максимум 418). Во все сезоны года была заметна тенденция к уменьшению радиационного баланса. Ежегодное его понижение составило: 0.4 осенью, около 1.0 весной и в зимние периоды и 2.8 в летние месяцы. При этом среднее значение сумм зимних месяцев было равно 760, весенних – 647, летних – 1014 и осенних – 262. Средняя сумма из сумм среднегодовых величин радиационного баланса за весь период наблюдений равнялось 1915 при наименьшем его значении 1568 и наибольшем 2148.

Агроэкологические эффекты от различного распределения солнечной радиации по элементам рельефа степных агроландшафтов Украины

Харитонов Н.Н. (nick-nick@mail.ru)

Государственный аграрный университет, Днепропетровск, Ворошилова 25, Украина

Королевская Н.П., Покровский О.М.

Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

Известно, что ежегодный приход ФАР по Днепропетровской области составляет 2362 Мдж/м². В условиях экологического стационара ДГАУ в учхозе "Самарский" (в центральной части Днепропетровской области) в течение вегетационного периода культур (с марта по октябрь) провели четырехлетний ежемесячный мониторинг распределения абиотических факторов (свет, вода, тепло) по элементам рельефа (плакор, дно балки, склоны северной и южной экспозиции).

Учебно-научное хозяйство "Самарский" имеет сложное устройство местности. В пределах его землепользования размещена древняя терраса р. Самары (в северной части) с

отметкой над уровнем моря 55–60 м. Терраса переходит в вододельную, сильно расчлененную степную равнину. На вододельной равнине встречаются склоны разных экспозиций с крутизной до 15–18°. Исследования проводили, принимая во внимание три разновидности: несмытые, слабо – ($< 1-3^\circ$) и среднесмытые (5–7°) почвы склонов северной и южной экспозиции.

На склоне южной экспозиции общая освещенность превышала показатели склона северной экспозиции на 10 клк или на 10% (108 и 98 клк соответственно). Весной (в апреле) и осенью (в сентябре) эта разница в пользу южного склона составила 15.7 и 21.9% соответственно. Следовательно, на протяжении всего вегетационного сезона “северные” склоны были “обделенными” прямой солнечной радиацией и, притом, в весьма существенных размерах. Плакорный участок (в среднем за сутки) освещался меньше в сравнении со склонами южной экспозиции – на 65 клк, но больше, в сравнении со склонами северной экспозиции, – на 42 клк, а в сравнении с днищем балки – на 39 клк. Принимая за 100% всю солнечную радиацию, приходящую на плакорные (ровные) участки, как отражающую зональные условия, находим, что рельеф перераспределяет ее в следующих размерах: на склоны южной экспозиции поступает света больше на 10%, на склоны северной экспозиции – меньше на 8% и на дно балки – меньше на 6%. Каждый исследуемый год был своеобразен по количеству поступающей на объекты солнечной радиации, и различия эти были весьма значительными.

На основании приведенных данных можно сделать заключение о том, что вариабельность ресурсов солнечной радиации как между метеорологическими (флуктуационными, разногодичными), так и микроклиматическими условиями (обусловленными рельефом) имеет межзональное значение. То есть на склонах южной экспозиции проявлялись черты зоны сухой степи, а на склонах северной экспозиции – лесостепной зоны.

Таким образом, несомненно, что процессы склонового почвообразования связаны, прежде всего, с перераспределением света, тепла и влаги в соответствии с особенностями рельефа. Для того чтобы уяснить ведущую роль влаги в распределении карбонатов на глубину по элементам рельефа на пашне, провели статистический анализ парных корреляций после усреднения данных по месяцам для каждого из исследуемых четырех лет. Анализ приведенных данных показал, что плакор и склон северной экспозиции имеют общие черты относительно проявления тесной обратной связи между распределением влаги в грунте и содержанием карбонатов во все исследуемые года.

Согласно полученным результатам распределение влаги на склоне южной экспозиции менялось в определенной закономерности по годам. Таким образом, выявленная тенденция увеличения обратной связи между распределением влаги и содержанием карбонатов в почве только подтверждает существование особого (интразонального) типа почвообразования, который проявляется в наибольшей мере на склоне южной экспозиции.

На основе изложенных результатов можно сделать вывод, что эродированные почвы являются самостоятельными генетически сформированными образованиями интразонального типа, потому что формируются они, с одной стороны, в сложных специфичных только для них характерных условиях, а с другой стороны, на них влияет зональный фон, в том числе и зональный почвообразующий процесс. Отработанная нами на экологическом полигоне в учебном хозяйстве “Самарский” ДГАУ методология обследования особенностей распределения освещенности по элементам рельефа прошла производственную апробацию в условиях степного агроландшафта в колхозе “Дружба” Солонянского района на юге Днепропетровской области. Хозяйство Солонянского района было выбрано потому, что здесь доля средне- и сильноэродированных почв максимальна по сравнению с другими районами области. При этом провели две серии экспериментов. В первой серии экспериментов замеры освещенности в мае, июне и сентябре проводили на склонах западной и восточной экспозиций, ровных местах и на дне балки. Как выходит из анализа полученных данных, склоны западной экспозиции (СЗЭ), по сравнению со склонами восточной

экспозиции, плакором и дном балки, получили больше солнечной радиации. В количественном выражении приход солнечной радиации на СЗЭ в среднем превышал на 11.2 клк уровень солнечной радиации, полученной склонами восточной экспозиции (СВЭ) или на 7.9 клк больше, чем на плакоре, и на 12.7 клк больше радиации, пришедшей на дно балки. В связи с большим приходом тепла на склоны западной экспозиции температура в приземном слое воздуха на этих склонах была большей по сравнению со склонами восточной экспозиции на 1.5°C на поверхности почвы, на 1.7°C выше на высоте 50 см, и на 0.8°C – на высоте 200 см.

Вторая серия экспериментов была проведена по изучению отличий между склонами северной и южной экспозиции. По сравнению со склонами северных экспозиций южные склоны получали солнечной радиации на 3.5 клк больше (+8%). Температура приземного слоя воздуха, на высоте 50 и 200 см на склонах южной экспозиции на поверхности почвы была больше на 0.9–1°C. За счет большего прихода тепла в атмосфере на склонах южной экспозиции их температура была выше в слое 5 см на 2.5°C, в слое 10 см на – 0.7°C, в слое 15 см – на 0.5°C и приблизительно одинаковая на глубине 20 см.

Обобщение вышеизложенных результатов исследований свидетельствует, что склоны южной и западной экспозиций составляют одну экологическую группу, а северные и восточные – другую. Отличия в обеспечении их абиотическими факторами составляют в среднем 15%.

Радиационное усиление акустико-гравитационных волн и его влияние на температурный баланс атмосферы

Сулейменов И.Э. (sul@ionos.alma-ata.su), Аушев В.М., Адамов Т.Н., Васильев И.В.

Институт ионосферы МОН РК, Каменское Плато, 480020 Алматы, Казахстан

В работе показано, что под воздействием солнечной радиации атмосфера становится акустически активной средой, в которой могут самопроизвольно усиливаться как акустические, так и акустико-гравитационные волны. Показано, что усиление рассматриваемых волн происходит за счет преобразования энергии, запасенной свободными радикалами, в энергию волнового движения.

Показано, что для возникновения эффекта усиления акустико-гравитационных волн, ранее исследованного в [1] методами численного моделирования, протекающего под воздействием солнечной радиации, достаточно цикла из двух реакций – фотодиссоциации молекулярного кислорода (преобразование световой энергии в химическую) и реакции трехчастичной рекомбинации, обеспечивающей разогрев газа (преобразование энергии в тепловую). Это позволяет ограничиться анализом модельной атмосферы, состоящей из кислорода и азота с ограниченным числом фотохимических реакций, для анализа самого факта воздействия развития неустойчивостей на температурный баланс атмосферы.

Показано, что эффект усиления акустико-гравитационных волн (АГВ) под воздействием солнечной радиации обусловлен механизмом, сходным с механизмом усиления звука в газоразрядной плазме, предсказанным в [2] и впоследствии подтвержденным экспериментально [3, 4], а также с образованием хемоакустических волн в однородных средах [5].

В работе построена нелинейная теория усиления АГВ, основанная на процедуре сведения дифференциальных уравнений к алгебраическим, справедливая для выраженных нелинейностей и использованная ранее в [6] для описания свойств газоразрядной плазмы. Предложенная теория позволяет вычислить амплитудно-фазовые характеристики волн по аналогии с теорией ионизационных волн [7]. Установлено, что на масштабах, сопоставимых с высотой однородной атмосферы, АГВ достигают предельного усиления.

В работе проведено сопоставление вертикального профиля температуры модельной атмосферы, реализующегося в двух случаях: а) при однородном распределении компонент в

горизонтальном направлении и б) в случае, когда в горизонтальном направлении распространяется акустико-гравитационная волна, достигшая предельного коэффициента усиления. Для этой цели получено аналитическое решение задачи о вертикальном профиле распределения температур в модельной атмосфере, которое затем использовано в качестве фоновой модели для расчета характеристик АГВ. Получены модельные профили температуры в задачах а) и б). Показано, что учет АГВ, достигших предельного насыщения, приводит к сдвигу максимума профиля температуры по высоте на расстояние, сопоставимое с высотой однородной атмосферы.

Обсуждаются возможные перспективы практического применения явления самопроизвольного усиления акустико-гравитационных волн под воздействием солнечной радиации.

1. Jiyou Xu. The influence of photochemistry on gravity waves in the middle atmosphere. *Earth Planets Space*, 1999, 855-861.
2. Цендин Л.Д. Влияние разогрева электронов на акустическую неустойчивость плазмы в электрическом поле. *ЖТФ*, 1965, **35**, 11, 1972-1977.
3. Александров Н.Л., Напартович А.П., Паль А.Ф., Серов А.В., Старостин А.Н. Усиление звуковых волн в плазме газового разряда. *Физика плазмы*, 1990, **16**, В.4, 862-870.
4. Галечан Г.А., Мкртчян А.Р. Усиление акустических волн в плазме молекулярного газового разряда. *Акустический журнал*, 2002, **48**, 3, 314-318.
5. Suleimenov I.E., Aushev V.M., Shepherd M.G., Shepherd G.G. Generation of Chemoacoustic Waves in Non-Equilibrium Gases. Abstr. IUPAC World Congress, 2003, PH.6.P049 (213)
6. Голубовский Ю.Б., Куранов А.Л., Сулейменов И.Э., Бичуцкая Е.Н., Бичуцкий Д.А. Применение асимптотических методов к описанию разряда в диффузионо-рекомбинационном режиме. *Физика плазмы*, 1995, **21**, 5, 449-455.
7. Мишаков В.Г., Сулейменов И.Э., Куранов А.Л., Ткаченко Т.Л., Некучаев В.О., Покровская Т.А. О влиянии потерь электронов в упругих соударениях на стохастизацию ионизационных волн. *Физика плазмы*, 1996, **22**, 4.С, 354-357.

Возникновение активных акустических волноводов в атмосфере под воздействием солнечной радиации

Сулейменов И.Э. (Esenych@yandex.ru), Жантаев Ж.Ш., Адамов Т.А., Васильев И.В.
Институт ионосферы, Каменское Плато, 480020 Алматы, Казахстан

При изучении неустойчивостей, способных развиваться в атмосфере под воздействием солнечной радиации, значительное внимание уделяется крупномасштабным структурам. К ним относятся, в частности, акустико-гравитационные волны, способные усиливаться в адиабатической среде, непрерывно поглощающей энергию солнечной радиации [1, 2]. Исследование таких неустойчивостей представляет интерес, поскольку запасаемая в них энергия способна оказать влияние на энергетический баланс атмосферы. Однако такое влияние могут оказывать также и неустойчивости, пространственный период которых намного меньше высоты однородной атмосферы. К ним относятся, в частности, акустические волны.

В работе показано, что звуковые колебания также способны усиливаться в тех слоях атмосферы, где происходит интенсивное образование свободных радикалов в фотохимических реакциях. Данный эффект аналогичен явлению усиления звука в газоразрядной плазме [3]. Установлено, что поведение усиливающихся акустических колебаний существенным образом зависит от высотного профиля температуры. А именно, среда с большей и меньшей температурой играет роль оптически менее и более плотной среды, если отталкиваться от аналогии со световодами. Показано, что вблизи высот, где скорости реакций, приводящих к рекомбинации нечетного кислорода, достигают максимума, реализуется акустически активный волновод, в котором усиливаются звуковые волны, направление распространения которых лежит в горизонтальной плоскости.

В работе разработан метод теоретического описания спектра нелинейных колебаний, развивающихся в акустически активных волноводах под воздействием солнечной радиации.

Актуальность разработки метода определяется тем, что акустические колебания, с одной стороны, могут развиваться в широкой полосе частот, а, с другой стороны, требуется определить амплитуды составляющих спектра, поскольку именно эти величины определяют долю энергии, запасаемой в развитых неустойчивостях.

Метод основывается на сведении системы нелинейных гидродинамических уравнений к системе эффективных линейных уравнений при помощи проективных преобразований. Возможность представления нелинейных преобразований через линейные, которую предоставляют проективные преобразования за счет увеличения размерности пространства, известна и широко используется в геометрической оптике [4].

С использованием развитого метода выполнены оценки, показывающие, что кинетическая энергия, запасаемая в волноводной структуре, возникающей вблизи высот слоя стратосферного озона, может достигать 10–15% от общей энергии, запасенной в химически активных частицах нечетного кислорода.

1. Jiyao Xu. The influence of photochemistry on gravity waves in the middle atmosphere. *Earth Planets Space*, 1999, 855–861.
2. Сулейменов И.Э., Аушев В.М. Колебания и волны в неравновесных газовых средах: перспективы исследований в физической химии атмосферы. Изв. НАН Респ. Казахстан, сер. физ-мат., xxx..., 4, 107-118.
3. Галечан Г.А., Мкртчян А.Р. Усиление акустических волн в плазме молекулярного газового разряда. *Акустический журнал*, 2002, 48, 3, 314–318.
4. Сулейменов И.Э., Толмачев Ю.А., Жувикина И.А. К вопросу о взаимном соответствии обобщенной фурье-оптики и матричной оптики. *Оптика и спектроскопия*, 1996, 81, 1, 109-114.

Использование статистических методов для генерирования проекций суточных сумм солнечной радиации в изменяющемся климате

Оверченко А.В. (anicolenco@sanepid.md), Коробов Р.М. (corobov@mail.md)

Институт географии АН РМ, ул. Г. Асаки, 67а, МД-2028 Кишинэу, Республика Молдова

Изучение антропогенного изменения климата как регионального климатического отклика на глобальные изменения окружающей среды, а также оценки последствий этих изменений необходимы при различных масштабах пространственного и временного осреднения. В частности, для многих практических приложений, наряду с локальными проекциями климатических переменных, равно важна и соответствующая суточная информация.

Современные процедуры "предсказания" возможных суточных значений ключевых показателей климата основываются на их моделировании в так называемых "генераторах погоды", разрабатываемых с использованием статистических методов, главным образом стохастических, как наиболее адекватно отражающих изменчивый характер климата. Однако надежное генерирование суточных данных должно основываться на реальных значениях региональной или местной погоды и иметь с ней сходные статистические характеристики, вследствие чего создание любого генератора погоды обязательно предусматривает наличие длинных рядов режимных наблюдений, что в современной практике отношений "хранителя информации" и потенциального пользователя не всегда возможно. Поэтому предпринята попытка воспроизвести суточные данные на основе их месячных значений, что, по нашему мнению, привело к достаточно обнадеживающим результатам. Продемонстрируем предложенный подход на примере суммарной солнечной радиации, где он показал себя особенно эффективным.

В качестве исходных проекций использовались сниженные до масштабов Молдовы осредненные результаты трех модельных экспериментов (*CGCM2*, *CSIRO Mk2* и *HadCM3*) для двух регионально ориентированных сценариев эмиссий парниковых газов (*SRES A2* и *B2*) и трех временных горизонтов – 20-е (2010–2039), 50-е (2040–2069) и 80-е (2070–2099) годы. Годовой ход месячной радиации аппроксимировался полиномами различных степеней, из которых в качестве оптимальной модели был выбран полином 4-ой степени, наиболее близко

описывающий искомую зависимость. Полученные коэффициенты полиномиальной регрессии послужили входными параметрами для расчета ожидаемой суточной климатологии солнечной радиации.

Для иллюстрации надежности метода было проведено сравнение годовых значений солнечной радиации, полученных суммированием месячных и генерированных суточных сумм. Точность аппроксимации оценивалась по средней, абсолютной и стандартной ошибке, где за "ошибку" условно принято отклонение годовых значений, суммированных по генерированным суточным данным, от результатов суммирования месячных величин. Результаты сравнения показали, что значения очень близки и аппроксимация лишь незначительно (в пределах 0.5%) завышает годовые величины.

Таким образом, предлагаемый метод проектирования суточных значений суммарной солнечной радиации, осредненных для достаточно длительного периода времени, вполне надежен и может служить для различного рода оценочных приложений. В частности, в наших исследованиях эти данные явились исходным материалом при моделировании урожайности в изменяющемся климате некоторых сельскохозяйственных культур.

Некоторые тенденции изменения аэрозольной мутности атмосферы в России

Ерохина А.Е., Лукин А.Б. (makhotk@main.mgo.rssi.ru)

Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

Горбаренко Е.В. (catgor@mail.ru)

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геогр. фак., метеорологическая обсерватория, Воробьевы Горы, 119992 Москва, Россия

По данным отдельных актиметрических станций, расположенных на Европейской территории России, в Сибири и на Дальнем Востоке, выполнена оценка аэрозольной мутности атмосферы и проанализированы ряды месячных и среднегодовых значений аэрозольной оптической толщины (АОТ) атмосферы (τ_{a,λ_0}) за период с 1976 по 2003 г. Расчет АОТ атмосферы выполнен по материалам режимно-справочного банка данных "Актиметрия", держателем которого является Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова по методике определения АОТ для эффективной длины волны солнечного спектра $\lambda_0 = 550$ нм, разработанной в Метеорологической обсерватории МГУ. Для Москвы ряды данных АОТ проанализированы за период 1955–2003 гг. на основе наблюдений, выполненных в Метеорологической обсерватории МГУ.

Для временных рядов месячных и годовых значений τ_{a,λ_0} определены средние за различные периоды и их статистические характеристики, подробно рассмотрен средний для различных периодов годовой ход τ_{a,λ_0} . Проведено сравнение аэрозольной мутности в пунктах с различной антропогенной нагрузкой. Рассмотрена многолетняя изменчивость годовых значений τ_{a,λ_0} и их аномалий, оценены линейные тренды временных рядов.

Средние месячные и годовые значения τ_{a,λ_0} получены для периодов: 1976–2003 и 1994–2003 гг., они существенно зависят от периода осреднения данных. К анализу рядов отдельных станций привлекались также данные о τ_{a,λ_0} за период 1955–1987 гг.

Тип годового хода τ_{a,λ_0} определяется естественными факторами: сезонной сменой синоптических процессов и состоянием подстилающей поверхности. Общие закономерности годовой изменчивости для различных пунктов России сохраняются независимо от периода осреднения данных, что позволяет использовать полученную ранее типизацию годового хода τ_{a,λ_0} .

Наибольшее увеличение аэрозольной мутности связано с вулканическими извержениями, влияние которых проявляется в рядах τ_{a,λ_0} в течение двух лет после извержения и прослеживается по данным всех станций. За рассматриваемый период самое значительное увеличение мутности атмосферы на 35–50% отмечалось после извержений вулканов Эль-Чичон (1982 г) и Пинатубо (1991 г). Период 1994–2003 гг. интересен тем, что на фоне отсутствия в атмосфере вулканического аэрозоля на территории России существенно снизились выбросы антропогенного аэрозоля. По данным всех станций АОТ атмосферы в этот период в течение всего года ниже соответствующих средних многолетних значений, исключение составили регионы, в которых летом 2002, 2003 годов бушевали лесные пожары. Влияние дымной мглы от лесных пожаров на АОТ сопоставимо с влиянием вулканических извержений по величине (средние месячные значения τ_{a,λ_0} в месяцы с дымной мглой в полтора, два раза превышают норму). Однако по времени действие дымового аэрозоля, как правило, непродолжительно, так как он быстро вымывается из атмосферы.

Для выявления соотношения между аэрозолем естественного и антропогенного происхождения проведено сравнение АОТ для станций, расположенных в городах и сельской местности. При этом если в период 1955–1987 гг. τ_{a,λ_0} в городах превышала τ_{a,λ_0} "чистых" станций на 20–50%, то в 1994–2003 гг. эта разница существенно сократилась (по данным отдельных станций до 0).

В последнее десятилетие XX века выявлено заметное уменьшение аэрозольной мутности атмосферы, для большинства рассмотренных станций отмечается тенденция к уменьшению τ_{a,λ_0} , более выраженная на городских станциях. Эта тенденция обусловлена, прежде всего, уменьшением промышленной деятельности в России, а также отсутствием в этот период значительных вулканических извержений.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 03-05-64441).

Прямое воздействие солнечных эмиссий на оптико-метеорологические параметры атмосферы

Никольский Г.А. (gnik@paloma.spbu.ru), Шульц Э.О.

НИИ физики Санкт-Петербургского государственного университета, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Длительные высокогорные наблюдения с помощью комплекса приборов за динамикой спектральной прозрачности атмосферы и метеопараметров позволили сделать вывод о существовании, помимо обычного равновесного или вспышечного излучения Солнца, ещё и некоторых радиально-лучевых квазипараллельных эмиссий из активных областей Солнца, получивших рабочее название "проблеск". Они заключены в узком спектральном интервале с полушириной около 15 нм и центрированы у линий бальмеровской серии с длиной волны 410 нм и короче. Наличие подобных эмиссий, но в лаймоновской серии, подтверждено измерениями прибора SWAN, установленного на борту космической платформы SOHO. По нашим данным и данным с SWAN мощность "проблесков" превосходит фоновую в 10^6 – 10^7 раз, т.е. излучение это не является тепловым.

В последнее время наше внимание привлекли сильные непосредственные воздействия на метеорологические оптические параметры атмосферы эмиссий неизвестного генезиса, генерируемых в активных областях и в корональных дырах Солнца. Некоторые исследователи, столкнувшиеся с этими явлениями, склонны объяснять их, опираясь на новые, разрабатываемые ими основы физики (новые взаимодействия). Мы, обнаружив связь этих эмиссий с активными областями Солнца, полагаем, что их интерпретация не

обязательно сопряжена с необходимостью пересмотра основ физики, но требует уточнения процессов переноса вихревого гравитонного излучения в системе Солнце–Земля.

Теория озонной дыры: разработка и результаты

Гущин Г.П. (shchukin@peterlink.ru)

Филиал ГГО им. А.И. Воейкова (НИЦ дистанционного зондирования атмосферы), Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

До настоящего времени не создана общепринятая теория озонной дыры (ОД), являющейся крупномасштабной экологической катастрофой, возникшей в последней трети прошлого века и вызвавшей существенные и опасные для биосферы и человека изменения химического состава, оптических характеристик и радиационного режима атмосферы Антарктики и соседних с ней районов. При этом каждую весну в Антарктике в нижней стратосфере разрушается 90–95% атмосферного озона, препятствующего проникновению к поверхности земли губительного коротковолнового ультрафиолетового излучения. ГГО, ее филиал и ААНИИ непосредственно участвовали с начала появления ОД и продолжают участвовать в исследовании этого грозного явления, регулярно направляя в Антарктиду квалифицированных наблюдателей со специально разработанными в ГГО методами и приборами и анализируя полученные отечественные и зарубежные данные наблюдений.

Для объяснения причин возникновения ОД было предложено несколько гипотез, из которых потом почти все были отвергнуты. Наибольшую известность получила фреонно-гетерогенная гипотеза ОД, разработанная в основном в Лаборатории аэронамики в Боулдере (США), но и она, как показал анализ, противоречит существующим экспериментальным фактам. Например, по данным спутниковых наблюдений с помощью системы TOMS в зимний период 1992–93 гг., когда уже существовала ОД, в нижней стратосфере в Антарктике происходил рост концентрации нитрата хлора ClONO_2 и уменьшение концентрации азотной кислоты HNO_3 , а это противоречит указанной гипотезе, согласно которой должно наблюдаться уменьшение концентрации ClONO_2 и увеличение концентрации HNO_3 в это время.

Разработке общепринятой теории ОД за рубежом помешали широко распространенные ошибочные представления об отсутствии в нижней стратосфере в течение года фотохимического равновесия семейства нечетного кислорода, включая озон, и заниженная оценка дневных концентраций атомных хлора и кислорода в ОД в нижней стратосфере.

С учетом вышесказанного настоящая работа посвящена разработке теории ОД, которая не противоречит имеющимся экспериментальным фактам, способна объяснить все особенности исследуемого явления и позволяет корректно рассчитать концентрации атмосферных компонентов в ОД, включая озон.

Разработка рассматриваемой теории ОД основана на четырех основополагающих физико-химических факторах, которые не противоречат экспериментальным фактам:

- 1) техногенно-фреонного воздействие на озонный слой, произведенное в прошлом веке и позволившее фреонам, вследствие закономерностей атмосферной циркуляции, распространиться в стратосфере по всему земному шару;
- 2) наличие фотохимического равновесия семейств нечетных компонентов в стратосфере в дневное время, доказанное теоретическими исследованиями автора и позволившее на корректной основе без использования гетерогенных реакций вычислить концентрации атомного кислорода, хлора, озона и других компонентов в озонной дыре;
- 3) действие каталитических циклов в стратосфере, разрушающих и образующих озон;
- 4) новые физические представления об атмосферном фронте, разработанные автором, включая полярный стратосферный фронт в Антарктике, как воздушной завесе, препятствующей горизонтальному турбулентному перемешиванию различных воздушных масс и образующей внутри полярного стратосферного циклона (ПСЦ) в Антарктике

динамически изолированную часть атмосферы.

Разработка построена на легко воспроизводимых расчетах, в основе которых лежат выведенные формулы и данные измерений концентраций малых компонентов атмосферы.

В результате использования этих факторов и разработки соответствующего метода был выполнен теоретический расчет времени химической жизни семейств нечетных компонентов атмосферы τ_{A_x} в ОД, показавший, что в дневное время в нижней стратосфере значение τ_{A_x} меньше 24 часов для рассматриваемых семейств и что, следовательно, там существует фотохимическое равновесие семейств нечетных компонентов – хлора, азота, брома, водорода и кислорода (последнего в октябре).

Был выполнен расчет уменьшения концентрации озона в течение каждой декады в августе–сентябре в ОД под действием хлорно–азотного и хлорного каталитических циклов с учетом кислородного цикла, образующего озон. При этом было показано, что в августе–сентябре в ОД фотохимическое равновесие семейства нечетного кислорода не устанавливается, и вследствие этого происходит быстрое разрушение озона в нижней стратосфере каталитическими циклами вплоть до начала октября, когда там устанавливается фотохимическое равновесие. Было показано также, что расчетная фотохимически равновесная концентрация озона уменьшается подекадно так же, как это наблюдается в действительности, и в октябре становится равной наблюдаемой в ОД минимальной концентрации, составляющей в это время на высоте 20 км в среднем $8,7 \cdot 10^{10}$ молекул·см⁻³. Для выполнения указанных вычислений были выведены формулы для расчета фотохимически равновесных концентраций компонентов атмосферы в ОД и рассчитаны концентрации O, Cl, O₃ и других компонентов в стратосфере. Для этого использовались, как исходные, данные наблюдений за концентрациями ClONO₂, ClO, HNO₃, BrO и O₃, поступившие со спутников, самолетов и озонозондов.

Важную роль в образовании озонной дыры играет нитрат хлора, как передатчик атомного хлора из ночной антарктической атмосферы в дневную на уровне нижней стратосферы. Во время полярной ночи концентрация ClONO₂ увеличивается и накапливается в период техногенного воздействия внутри динамически изолированной части нижней антарктической стратосферы, когда фотохимическое равновесие отсутствует, за счет реакции $ClO + NO_2 + M \rightarrow ClONO_2 + M$, и не компенсируется реакцией $ClONO_2 + OH \rightarrow HOCl + NO_3$ (или $ClO + HNO_3$) из-за очень малой ночной концентрации OH, что подтверждается данными спутниковых наблюдений. Весной с появлением Солнца нитрат хлора фотодиссоциирует по реакции $ClONO_2 + h\nu \rightarrow Cl + NO_3$ с выделением атомного хлора (тем больше, чем больше концентрация ClONO₂), который участвует в дневных хлорно-азотных каталитических циклах, разрушающих озон, и тем самым концентрации Cl, ClO, ClONO₂, NO₃, NO₂, NO сохраняются неизменными как катализаторы, и в том числе потому, что эти компоненты после восхода Солнца быстро переходят в состояние фотохимического равновесия.

Полученные результаты позволяют считать, что теоретическая схема, принятая и просчитанная в настоящей работе, соответствует наблюдаемой картине изменений концентраций атмосферных компонентов и озона в ОД в весенний период. Подтверждается на основании теоретической разработки главная особенность ОД – низкий уровень наблюдаемой концентрации озона в нижней стратосфере во второй половине весны. Вторая особенность ОД, заключающаяся в том, что низкий уровень концентрации озона в ОД наблюдается на высотах 10–25 км, объясняется тем, что на этих высотах преобладает разрушение озона хлорно-азотными и хлорным каталитическими циклами над образованием его кислородным каталитическим циклом. На высотах 30 км и выше, образование озона кислородным каталитическим циклом близко к его разрушению хлорно-азотными и хлорным каталитическими циклами. Третья особенность, заключающаяся в том, что ОД наблюдается только весной в Антарктиде, объясняется тем, что весной только в антарктической нижней стратосфере располагается динамически изолированная часть атмосферы (препятствующая поступлению туда озона из более низких широт) с повышенными концентрациями нитрата

хлора и окиси хлора, находящихся в фотохимическом равновесии, и которые участвуют, как катализаторы, в хлорно-азотных и хлорном каталитических циклах, разрушающих озон. Четвертая особенность ОД заключается в значительной отрицательной корреляции между концентрациями окиси хлора и озона в нижней стратосфере и объясняется с точки зрения разработанной теории тем, что во всех рассматриваемых каталитических циклах, разрушающих озон, действует главная реакция $\text{Cl} + \text{O}_3 \rightarrow \text{ClO} + \text{O}_2$, в результате которой разрушение озона сопровождается образованием окиси хлора. Пятая особенность ОД, заключающаяся в том, что ОД всякий раз разрушается в ноябре или в начале декабря, объясняется тем, что в это время происходит разрушение ПСЦ и полярного стратосферного фронта, сопровождающееся крупномасштабным горизонтальным перемешиванием атмосферы и поступлением в район ОД озона из соседних более низких широт. Следующая особенность, состоящая в том, что на разрушение озона в ОД не влияют вертикальные движения в ПСЦ, объясняется тем, что в Антарктиде в ПСЦ по данным американских исследователей не обнаружен устойчивый апвеллинг (поднятие воздуха в верхней тропосфере и нижней стратосфере), а наоборот, там отмечается опускание воздуха. С точки зрения разработанной теории ОД находят объяснение и другие ее особенности, которые будут рассмотрены в более подробной публикации по этому вопросу.

Следует отметить слаженность, устойчивость и целесообразность физико-химических процессов в атмосфере, отмеченных, в том числе, при разработке теории ОД. Компоненты атмосферы, как показано в настоящей работе, находятся днем в стратосфере в фотохимическом равновесии или близком к нему. Разрушение озона в ОД в нижней стратосфере прекращается в середине октября благодаря наступлению фотохимического равновесия семейств нечетного кислорода еще до весенней перестройки атмосферной циркуляции и тем самым автоматически предотвращается дальнейшее неконтролируемое разрушение озона на огромной территории. Настоящая работа является продолжением работы [1].

Из изложенного выше следует вывод, что представленная разработка теории ОД не противоречит экспериментальным фактам и объясняет все известные особенности ОД.

1. Гуцин Г.П. О времени химической жизни семейств атмосферных компонентов и концентрации атомного кислорода в атмосфере". *Оптика атмосферы и океана*, 2003, **16**, 2, 118-125.

Биологическая активность солнечной УФ радиации: модельные расчеты и измерения с помощью D-дозиметра в Киеве и Антарктиде

Гвоздовский И.А., Орлова Т.Н., Салькова Е.Н., Теренцкая И.П. (teren@iop.kiev.ua)
Институт физики Национальной АН Украины, пр. Науки 46, 03028 Киев, Украина

Установлено, что высокие дозы солнечной УФ радиации имеют негативные последствия для организма, но в надлежащих дозах позитивный эффект УФ радиации заключается в иницировании синтеза витамина D, являющегося основным регулятором фосфорно-кальциевого обмена. Проведенные модельные расчеты обнаруживают резкую зависимость витамин-D-синтезирующей способности солнечной УФ радиации от толщины стратосферного озонового слоя. В течение 2003 года мониторинг солнечной УФ радиации проводился в Киеве (50N, 30E) и в Антарктиде на станции "Академик Вернадский" (65S, 64W) с помощью D-дозиметра, использующего синтез витамина D *in vitro*. Измерения прямой и глобальной биологически активной УФ радиации проводились путем экспонирования раствора провитамина D3 в прямоугольных и сферических кварцевых кюветах. Одновременно толщина озонового слоя измерялась с помощью спектрометра Добсона. Проведено сопоставление экспериментально измеренных и рассчитанных данных. Полученные результаты подтверждают известную резкую зависимость витамин-D-синтезирующей активности солнечной УФ радиации от времени года. Кроме того, впервые

значительное увеличение синтеза витамина D было зарегистрировано в Антарктиде в условиях низкого содержания стратосферного озона.

Первые результаты инструментальных измерений солнечной УФ радиации на станции Иссык-Куль (Северный Тянь-Шань, Кыргызстан)

Семенов В.К. (svk@elcat.kg), Синяков В.П., Игнатова Н.И.
Киргизский национальный университет, Фрунзе 547, 720033 Бишкек, Киргизия

Арефьев В.Н., Кашин Ф.В.
Институт экспериментальной метеорологии, НПО "Тайфун", Ленина 82, Обнинск, Россия

Ультрафиолетовая солнечная радиация на пути к поверхности Земли участвует в многочисленных фотохимических реакциях и играет важную роль в радиационном балансе атмосферы. Часть этой радиации, достигающая поверхности Земли, оказывает влияние на окружающую среду, в том числе на здоровье человека. Это влияние особенно чувствительно в горных условиях. Поэтому на горных курортах необходим мониторинг солнечной УФ радиации.

Станция Иссык-Куль (42.6°N, 77°E, 1650 m a.s.l.) находится в центре курортной зоны озера Иссык-Куль (Киргизия). С 2001 года здесь начаты регулярные измерения интенсивности прямой солнечной радиации с помощью двух ручных узкополосных радиометров MICROTOPS II. В сообщении представлены результаты измерения для 5-ти спектральных интервалов с центрами, на длинах волн: 305, 312, 320, 340 и 380 нм. Полуширина спектральных интервалов равна 2 нм для первых четырех каналов и 4 нм для канала 380 нм. Регистрация на всех каналах проводится одновременно. Продолжительность однократной регистрации 10 сек. Для дальнейшей обработки использовались средние за день, за месяц и год величины, отнесенные к местному полудню и измеренные при ясной погоде.

Определены параметры изменчивости УФ радиации различного временного масштаба. Удвоенные амплитуды сезонных колебаний относительно среднего годового значения уменьшаются с 186% для канала 305 нм до 45% для канала 380 нм. Сопоставление медленных (с периодом более 12 месяцев) изменений прямой солнечной УФ радиации с изменениями общего содержания озона (ОСО) над Северным Тянь-Шанем в 2001–2003 гг. показало, что при устойчивом росте ОСО со скоростью $(2.5 \pm 0.14)\%$ за год только для длины волны 305 нм наблюдалось статистически значимое уменьшение интенсивности УФ радиации на поверхности Земли со скоростью $(2.7 \pm 0.31)\%$ за год. Для длины волны 312 нм интенсивность УФ радиации оставалась практически неизменной, а для длин волн 320, 340 и 380 нм отмечен незначительный рост.

Для четырех значений зенитного угла Солнца (SZA) 64, 33, 21 и 50 градусов, соответствующих наиболее высокому положению Солнца для середины сезонов года: зима, весна, лето и осень, соответственно, были определены коэффициенты корреляции между вариациями ОСО и интенсивностью УФ радиации для различных спектральных участков, а также между УФ радиацией и натуральной оптической плотностью аэрозоля для длины волны 500 нм – $\tau_a(500)$. Измерения показали, что летом в 2001–2003 гг. с изменением озона устойчиво коррелирует только интенсивность прямой солнечной УФ радиации с длиной волны $\lambda = 305$ нм. Коэффициенты корреляции между УФ радиацией и $\tau_a(500)$ значимы для всех длин волн и имеют наибольшие значения для $\lambda = 340$ и 380 нм.

С июня 2003 г. на станции Иссык-Куль проводятся регулярные измерения суммарной (прямой + рассеянной) эритемно взвешенной солнечной радиации на поверхности Земли с помощью УФ Биометра 501. Приводятся первые результаты измерений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Международного научно-технического центра (грант Кг-763), Российского фонда фундаментальных исследований (грант 04-05-64702) и Киргизского агентства по науке и интеллектуальной собственности (тема 4/97).

Долгопериодные различия спутниковых и наземных методов определения УФ облученности земной поверхности

Нерушев А.Ф. (nerushev@obninsk.org), Терёб Н.В.

Институт экспериментальной метеорологии, пр. Ленина 82, 249038 Обнинск, Россия

Проведено исследование долгопериодных различий в дневных экспозициях приземной эритемной радиации, полученных по наземным измерениям интенсивности падающего на земную поверхность солнечного излучения и спутниковым измерениям интенсивности излучения, обратно рассеянного системой Земля-атмосфера. Наземный прибор – спектрофотометр Brewer, спутниковый – спектрофотометр TOMS/EarthProbe, измерительные пункты – Обнинск, Россия и Порпаг-Гановсе, Словакия.

Выявлено, что для Обнинска различие между спутниковыми и наземными измерениями содержит периодическую составляющую с периодом 54–62 месяца и размахом 26–32% и имеет годовой ход с максимумом в июне-июле и амплитудой 8–30%. Для Порпаг-Гановсе картина качественно подобная, но волновой компонент имеет несколько меньший период (41–45 месяцев), менее выражен – его размах только 14–18% и слабее годового компонента.

Для близких к Обнинску районов Центрально-Европейского региона России проанализированы ряды измерений спектральной прозрачности атмосферы (для Воронежа) и аэрозольной толщи атмосферы (для Москвы, по измерениям интегральной прозрачности). И вариации спектральной прозрачности атмосферы и вариации аэрозольной толщи обнаруживают практически одинаковое поведение: годовой ход, на который приходится 39% суммарной дисперсии в Воронеже и 38% в Москве, с максимумом ослабления в июне, и волновой компонент с периодом 57–64 месяца, на который приходится около 5% суммарной дисперсии как в Воронеже, так и в Москве. По-видимому, изменение аэрозольной составляющей прозрачности атмосферы является причиной периодичности и годового хода, но разное соотношение между годовым и волновым компонентом в вариациях прозрачности (аэрозольной толщи) и в различиях между наземными и "спутниковыми" измерениями УФ облученности земной поверхности нуждаются в дальнейшем осмыслении.

Авторы выражают признательность сотрудникам географического факультета Московского университета за предоставленные данные по прозрачности атмосферы в г. Москве.

Использование модельного комплекса для оценки радиационных характеристик УФ радиации и режима приземного озона в районе КВНС

Крамарова Н.А. (atm554@nabla.phys.msu.su), Кузнецов Г.И. Савиных В.В., Тарасова О.А.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физ. фак., Воробьевы Горы, 119992 Москва, Россия

Для решения некоторых прямых и обратных задач оптики атмосферы был создан вычислительный комплекс для оперативного расчета потоковых и яркостных характеристик УФ радиации в атмосфере, их взаимного анализа и возможностей оценки одних характеристик поля радиации по измеренным значениям других характеристик. Он предназначен, в частности, для использования на подвижных станциях наблюдения, например вагон-лаборатория TROICA.

В состав вычислительного комплекса вошли следующие модели:

- яркостная радиационная модель, основанная на численном методе последовательных порядков рассеяния (ППР);
- двухпотоковая модель, основанная на сочетании дельта аппроксимации и приближении Эддингтона;
- модель расчета радиационных характеристик атмосферного аэрозоля, основанная на теории Ми.

Разработанный комплекс может быть применен для решения прямых задач оптики атмосферы – нахождения яркостных и потоковых характеристик излучения, для анализа и интерпретации натурных измерений, а также для решения некоторых обратных задач оптики атмосферы, например для восстановления вертикального профиля аэрозоля путем оптимизации модельных расчетов по экспериментальным наблюдениям.

Для оценки точности разработанных моделей были выполнены тесты по стандартной методике расчета потоков и яркостей. Методика основана на расчете значений яркости, потоков и притоков радиации в однородном слое дымки с заданными параметрами. С помощью модели расчета радиационных характеристик аэрозоля, основанной на теории Ми, по заданным параметрам дымки рассчитывались соответствующие индикатрисы рассеяния и значения первых двух моментов разложения индикатрисы по полиномам Лежандра. Далее проводились расчеты потоков с помощью двухпоточковой модели, а также потоков и яркостей с помощью ППР метода.

Рассчитанные с помощью разработанных моделей значения яркости и потоков сравнивались с точными расчетами, выполненными методом дискретных ординат. Сравнения показали, что метод ППР дает хорошее согласие с точным методом – отклонение рассчитанных значений от точных не превышает 3%, а в большинстве случаев составляет менее 1%. Стандартный двухпоточковый метод, основанный на приближении Эддингтона для индикатрисы рассеяния, несмотря на сравнительно небольшую ошибку в оценке притоков радиации в слое, составляющую менее 10%, дает физически некорректные отрицательные значения для потока на верхней границе слоя. Это показывает необходимость комбинирования приближения Эддингтона с дельта методом для расчетов потоков в слоях с большим показателем фактора асимметрии, который характерен для частиц аэрозоля и облачности. При добавлении дельта метода результаты расчетов существенно улучшаются, отклонения расчетных значений от точных в этом случае не превышает 5%.

Одной из прикладных областей для применения разработанного комплекса является расчет скоростей фотолиза малых газовых составляющих (таких как озон, NO_x и пр.) для последующего расчета изменения концентраций малых газовых составляющих. С помощью разработанного комплекса нами были рассчитаны спектральные потоки УФ радиации, а затем и скорости фотолиза озона для Кисловодской Высокогорной Научной Станции (КВНС) для нескольких сезонов, с использованием метеопараметров и общего содержания озона, экспериментально наблюдаемых на КВНС. Проведено сравнение значений скоростей фотолиза озона, рассчитанных с помощью разработанного комплекса моделей, со значениями скоростей, рассчитанных по экспериментально измеренным на КВНС значениям потока.

На основе разработанного метода были проведены модельные оценки вертикального профиля аэрозоля, оптимально удовлетворяющие совпадению экспериментальных и модельных значений поля УФ радиации.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 03-05-64712 и INTAS 01-0016.

СЕКЦИЯ 3. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РАДИАЦИИ С ОБЛАКАМИ И АЭРОЗОЛЕМ

Председатель: проф. И.Л. Кароль (ГГО, Санкт-Петербург)

Сопредседатели: проф. Г.И. Горчаков (ИФА РАН, Москва), д.ф.-м.н. А.В. Троицкий (НИРФИ, Н.-Новгород)

Состав и радиационные характеристики задымленной атмосферы Московского региона при пожарах торфяников

Горчаков Г.И. (gengor@ifaran.ru), Аникин П.П., Волох А.А., Емиленко А.С., Исаков А.А., Карпов А.В., Копейкин В.М., Лезина Е.А., Свириденков М.А., Семутникова Е.Г., Шукуров К.А.

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия

В июле–сентябре 2002 г. в Московском регионе во время пожаров торфяников выполнены комплексные измерения оптических и микрофизических характеристик, а также элементного состава дымового аэрозоля в приземном слое атмосферы. Синхронно с измерениями в приземном слое оптическими методами определялась микроструктура аэрозоля в толще атмосферы. В г. Москве непрерывно регистрировались концентрации газовых компонент загрязнения атмосферы.

Установлено, что в периоды максимального задымления приземной атмосферы массовая концентрация сухой основы субмикронного аэрозоля превышала 2000 мкг/м^3 . При этом массовая концентрация сажевого аэрозоля в г. Москве не превышала 20 мкг/м^3 . В частности, в июле–августе 2002 г. максимальные значения концентраций в приземном слое городской атмосферы составляли: для угарного газа – 15 мг/м^3 , для окиси азота – 0.7 мг/м^3 , для двуокиси азота (вблизи автострад) – 0.53 мг/м^3 , для сернистого газа – 95 мкг/м^3 и бензола – 41 мкг/м^3 . Для дымов торфяников характерны низкие концентрации тяжелых металлов. Повышенные, по сравнению с Подмосковьем, концентрации тяжелых металлов в воздушном бассейне г. Москвы (цинк – 0.7 мкг/м^3 , свинец – 0.1 мкг/м^3 , хром – 0.12 мкг/м^3 , кадмий – 35 нг/м^3 , никель – 45 нг/м^3 , кобальт – 3 нг/м^3) обусловлены городскими источниками загрязнения и неблагоприятными метеорологическими условиями в периоды задымления.

Микроструктура субмикронного дымового аэрозоля в приземном слое атмосферы, восстановленная по данным спектрополяризметрических измерений, оказалась близкой к микроструктуре субмикронного дымового аэрозоля в толще атмосфере, которая определялась с учетом эффектов кратного рассеяния по данным измерений спектральной прозрачности атмосферы и спектральных индикатрис яркости неба в области солнечного ореола.

Как показали комплексные измерения оптических характеристик для приземного слоя и для толщи атмосферы, дымы торфяников отличаются низкой поглощательной способностью по сравнению с продуктами горения древесины и торфа (лабораторные эксперименты) и дымовым аэрозолем, образующимся при пожарах в тропических лесах и саванне. Согласно данным измерений в Подмосковье летом 2002 г. вероятность выживания кванта (в видимой области спектра) для дымов торфяников находится в диапазоне 0.96–0.98.

Долгопериодная изменчивость массовой концентрации субмикронного аэрозоля

Горчаков Г.И. (gengor@ifaran.ru), Исаков А.А., Мохов И.И., Свириденков М.А., Шукуров К.А., Карпов А.В., Озерский Р.С., Чернокульский А.В.

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия

В 1991–2003 гг. на Звенигородской научной станции Института физики атмосферы проводились измерения массовой концентрации субмикронного аэрозоля

нефелометрическим методом. Нами проанализированы вариации массовой концентрации сухой основы частиц субмикронного аэрозоля в 1991–2001 гг.

Определена величина тренда и рассчитаны статистические характеристики вариаций аэрозольного коэффициента рассеяния и массовой концентрации субмикронного аэрозоля, построена эмпирическая функция распределения.

Оценены вклады в суммарную дисперсию вариаций с различными временными масштабами, включая внутрисуточные, синоптические и долгопериодные вариации.

Проанализирован суточный ход концентрации субмикронного аэрозоля и его сезонная изменчивость, а также годовой ход массовой концентрации субмикронного аэрозоля.

Выполнен спектральный и вейвлетный анализ временной изменчивости коэффициента рассеяния. Выявлена квазилинейчатая структура спектра долгопериодной (больше 100 суток) изменчивости. Наряду с годовым ходом и его гармониками временной спектр исследуемого 11-летнего ряда содержит гармоники, обусловленные межгодовой изменчивостью параметров атмосферного аэрозоля.

Изучен спектр временной изменчивости в области масштабов от 1 до 100 суток. Получены оценки мощности синоптических вариаций (2–7 суток) и долгопериодных синоптических вариаций (10–60 суток).

Особенности распределения оптических и микрофизических характеристик аэрозоля в образованиях типа атмосферного коричневого облака над центральной Азией

Свердлик Л.Г. (lidar@istc.kg), Чен Б.Б.

Киргизско-Российский Славянский университет, Киевская 44, 720000 Бишкек, Кыргызстан

Лидарная станция Теплоключенка является единственной научной станцией комплексного мониторинга тропосферного и стратосферного аэрозоля лидарным методом в центре азиатской части глобальной геоэкологической системы. Станция основана в 1987 году и расположена на высоте свыше 2000 м над уровнем моря в Центральном Тянь-Шане в юго-восточной части высокогорного озера Иссык-Куль (42,5°N, 78,4°E). Лидарный комплекс работает в следующих режимах: а) одновременная регистрация интенсивности излучения обратного рассеяния на трех длинах волн (355, 532, 1064 нм) и рамановского обратного рассеяния атмосферным азотом (387 нм) в аналоговом и режиме счета фотонов; б) регистрация двух перпендикулярных компонент поляризации сигнала обратного рассеяния на длине волны 532 нм с применением в качестве поляризатора призмы Волластона.

Накопленный к настоящему времени экспериментальный материал свидетельствует о достаточно регулярном появлении в тропосфере в условиях сухой ясной погоды и отсутствии в атмосфере в пределах видимости обычных облаков достаточно устойчивых по высоте аэрозольных слоев. Визуально они представляют собою смог или туман коричневого цвета и очень похожи на Атмосферные Коричневые Облака, исследованию которых в настоящее время придается очень большое внимание. Нижняя граница, как правило, расположена в области высот 3.0 км или 6.0–8.0 км. Вертикальная их протяженность составляет от 0.8 до 3.0 км. Проявляются они в виде локализованной области с повышенной, обычно в 5–15 раз по сравнению с окружающей их средой, концентрацией аэрозоля. Значения суммарной площади аэрозольных частиц на единицу объема воздуха, определяющие интенсивность рассеянного аэрозолем излучения, составляют в среднем 400–600 мкм²/см³.

Вне зависимости от сезона выявлено существенное разнообразие высотных зависимостей коэффициентов обратного рассеяния $\beta_a(h, \lambda)$ и коэффициентов ослабления $\alpha(h)$ на длине волны 532 нм в этих аэрозольных образованиях.

В тех случаях, когда облака наблюдаются в нижней тропосфере и их нижняя граница примыкает к слою инверсии, регистрируемые величины оптических характеристик значительно превышают средние значения. Максимальные значения $\beta_a(h)$ на длинах волн 355, 532 и 1064 нм составляют обычно 0.1, 0.04 и 0.01 стер^{-1} соответственно, а средний коэффициент ослабления во всей толще облака изменяется от 0.2 до 0.5 км^{-1} .

Аэрозоль, содержащийся в облаках, как правило, имеет одно- или двух-модальное распределение частиц по размерам. Приближение тремя логнормальными функциями позволяет учесть особенности функции распределения, однако такое разделение достаточно условное, т.к. связано обычно с выделением подфракции.

Распределение площади частиц аэрозоля по спектру ($F_s = dS/d\ln r$, $\text{мкм}^2/\text{см}^3$) в облаках весьма существенно отличается от спектров частиц в окружающем пространстве. В результате анализа полученных данных можно говорить о том, что для облаков в нижней тропосфере характерно не простое увеличение концентрации всех фракций аэрозоля, а чаще всего изменение их соотношения и четкое выделение вклада субмикронной фракции ($0.1 \leq r \leq 1.0$ мкм). При этом отношение концентраций между модами таково, что вклад в общий баланс мелкодисперсной и крупной фракций не превышает 15%. В других, более редких случаях, спектры распределения аэрозольных частиц по размерам заметно смещаются в область более мелких частиц с радиусами $r = 0.1\text{--}0.2$ мкм и описываются при этом одной более широкой логнормальной функцией.

Различия механизмов смешения разнородных аэрозолей, мощность и спектр генерации источников и особенности физико-химического состава частиц, определяющих обобщенную плотность аэрозольного вещества, могут приводить, видимо, к результатам, полученным при измерениях оптических характеристик облаков в верхней тропосфере (6.0–8.0 км). Средний коэффициент ослабления во всей толще облака, вне зависимости от расположения по высоте, изменяется от 0.2 до 0.4 км^{-1} , а максимальные значения преимущественно приходятся на средние слои. Средняя аэрозольная оптическая толщина $\tau_a = 0.3\text{--}0.7$. Для таких облаков характерны меньшие величины $\beta_a = 0.05$ (355 нм) и более высокие значения коэффициентов обратного рассеяния на длине волны 1064 нм ($\beta_{a\text{max}} = 0.02$). Физическая интерпретация этого состоит в повышенной концентрации крупнодисперсного аэрозоля, что подтверждают микрофизические расчеты. Заметно существенное повышение вклада крупнодисперсной и СБМ фракций. При этом хорошо выражено практически постоянное присутствие в той или иной мере крупных частиц. Из результатов микроструктурного анализа облаков в верхней тропосфере следует, что внутри облака имеется локальная область, расположенная у нижней границы, где определяющую роль в общей концентрации играют крупные частицы. Вариации микрофизических параметров в облаке, как правило, связаны с изменениями концентрации аэрозоля. Если мода крупных частиц обычно является доминирующей, то вторая мода может приходиться как на область субмикронных частиц, так и на мелкодисперсную фракцию ($r < 0.1$ мкм). Состоит эта мода, видимо, из частиц долгоживущего аэрозоля, имеющую существенную антропогенную компоненту, на что указывают высокие значения мнимой части комплексного показателя преломления ($k = 0.02\text{--}0.06$). Максимальная величина деполяризации D в облаках находится на уровне 0.30–0.40, что несколько ниже значений, присущих реальным водяным кристаллам.

Матрица рассеяния аксиально-ориентированных несферических частиц

Парамонов Л.Е. (param@ktk.ru), Шмидт В.А.

Красноярский государственный технический университет, Киренского 26, 660074 Красноярск, Россия

Рассматривается рассеяние света ансамблем несферических частиц, ориентационная структура которого в лабораторной системе координат описывается функцией азимутального угла, при произвольном направлении распространения падающего излучения относительно оси Z лабораторной системы координат.

С использованием метода Т-матриц [1] и теории представлений группы вращений [2] получены аналитические выражения элементов матрицы Мюллера (в терминах элементов Т-матрицы).

Представляются результаты численных расчетов угловой зависимости элементов матрицы рассеяния для сфероидальных и цилиндрических частиц.

1. Waterman P.C. Symmetry, unitarity and geometry in electromagnetic scattering. *Phys. Rev. D*, 1971, **3**, 825-839.
2. Гельфанд И.М., Минлос Р.А., Шапиро З.Я. Представления группы вращений и группы Лоренца и их приложения. М., Физматгиз. 1958.

Оптическая классификация полидисперсных сферических частиц

Парамонов Л.Е. (param@ktk.ru), Шмидт В.А.

Красноярский государственный технический университет, Киренского 26, 660074 Красноярск, Россия

Формулируется гипотеза – полидисперсные сферические частицы, имеющие равные второй, третий и шестой моменты распределения имеют близкие по значениям оптические характеристики, включая и элементы матрицы рассеяния.

Проводится классификация полидисперсных сферических частиц – к одному классу относятся ансамбли частиц, имеющие три отмеченных момента распределения.

Приводятся результаты численных расчетов, подтверждающие гипотезу для частиц с относительным показателем преломления, соответствующим аэрозолям минерального происхождения.

Обсуждается решение ряда обратных задач на классах эквивалентности.

Влияние загрязнения на оценку размеров аэрозольных частиц по данным оптических наблюдений

Черемисин А.А. (cher@akadem.ru), Парамонов Л.Е.

Красноярский государственный технический университет, ул. Киренского 26, 660074 Красноярск, Россия

При интерпретации данных оптических наблюдений аэрозольных образований в атмосфере, например, серебристых облаков, используются модели ледяных сферических частиц с соответствующими относительными показателями преломления. При таком подходе размеры частиц серебристых облаков, согласно ракетным исследованиям линейной поляризации рассеянного солнечного света [1], оценке индикатрис рассеяния по данным спутниковых наблюдений [2] и лидарным измерениям зависимостей коэффициентов обратного рассеяния от длины волны [3], оцениваются величиной 100 нм. Для объяснения обнаруженного в настоящее время эффекта деполяризации лазерного излучения используются несферические частицы – сфероидальные и круговые цилиндрические частицы хаотически ориентированные в пространстве [4].

Между тем, на мезосферных высотах ледяные частицы могут быть загрязнены как компонентами метеорного происхождения, так и, например, сажей [5, 6]. Кроме того, не исключена возможность, что частицы облаков представляют собой достаточно рыхлые агрегаты.

Данная работа посвящена исследованию влияния отмеченных факторов на оценку размеров аэрозольных частиц по данным оптических наблюдений. Эффекты загрязнения учтены за счет изменения комплексной части показателя преломления. Рыхлость частиц моделируется усредненным показателем преломления – $(n-1) \sim \rho$, где ρ – средняя плотность аэрозольной частицы. В качестве моделей частиц использованы сфероидальные и круговые цилиндрические частицы, ориентационная структура которых описывается осесимметричной функцией распределения. Расчеты угловой зависимости элементов матрицы рассеяния проводились с использованием точного метода Т-матриц.

Наличие в серебристых облаках частиц микронного размера может свидетельствовать в пользу того, что в их формировании участвуют гравитофотофоретические силы $\delta\alpha$ - и δT -типа [6, 7].

1. Tozer W.F., Beeson D.E. Optical Model of Noctilucent Clouds Based on Polarimetric Measurements From Two Sounding Rocket Campaigns. *J. Geophys. Res.*, 1974, **79**, 36, 5607–5612.
2. Thomas G.E. Solar Mesosphere Explorer measurements of polar mesospheric clouds (noctilucent clouds). *J. Atmos. Terr. Phys.*, 1984, **46**, 9, 819–824.
3. von Cossart G., Fiedler J., von Zahn U. Size distributions of NLC particles as determined from 3 color observations of NLC by ground based lidar. *Geophys. Res. Lett.*, 1999, **26**, 1513–1516.
4. Baumgarten G., Fricke K. H., von Cossart G. Investigation of the shape of noctilucent cloud particles by polarization lidar technique. *Geophys. Res. Lett.*, 2002, **29**, 13, 1630–1634.
5. Pueshel R.F., Verma S., Rohatschek H., Ferry G.V., Boiadjeva N., Howard S.D., Strawa A.W. Vertical transport of anthropogenic soot aerosol into the middle atmosphere. *J. Geophys. Res.*, 2000, **105**, D3, 3727–3736.
6. Cheremisin A.A., Vassilyev Yu.V., Kushnarenko A.V. Photophoretic forces for bispherical aerosol particles. *Proc. SPIE*, 2002, 5027, 23–34.
7. Cheremisin A.A., Vassilyev Yu. V. Gravitophotophoresis as mechanism of aerosol layers formation in atmosphere. Symposium on Atmospheric and Ocean Optics. Atmospheric Physics. Tomsk: IOA SB RAS, 2003, 116.

Измерения оптических свойств аэрозоля в районе озера Иссык-Куль

Семенов В.К. (svk@elcat.kg), Синяков В.П., Сорокина Л.И., Игнатова Н.И.

Киргизский национальный университет, Фрунзе 547, 720033 Бишкек, Киргизия

Арефьев В.Н., Кашин Ф.В.

Институт экспериментальной метеорологии, НПО "Тайфун", Ленина 82, Обнинск, Россия

Представлены результаты измерений оптической плотности аэрозоля τ_a , показателя Ангстрема a и содержания водяного пара в столбе атмосферы W , полученные на станции Иссык-Куль (42.60 N, 77.00 E, 1650 m a.s.l.) в 2000–2003 гг. Измерения τ_a , a и W проведены пятиканальным ручным солнечным фотометром MICROTOPS II с интерференционными фильтрами, центрированными на длинах волн: 340, 380, 500, 675 и 870 нм с шириной полосы пропускания на уровне половины максимальной величины (FWHM) 2, 4, 10, 10 и 10 нм, соответственно. Измерения проводились при ясной погоде с интервалом в 1 час и в дни с переменной облачностью, когда диск Солнца был свободен от облаков. Для каждого среднего дневного значения τ_a (340, 380, 500 и 675) вычислялся показатель Ангстрема a как угол наклона линейной зависимости $\ln \tau_a$ от $\ln \lambda$. При изменении τ_a на канале 500 нм в пределах от 0.040 до 0.180 абсолютная случайная погрешность разового измерения τ_a изменяется от 0.003 до 0.010, а относительная погрешность – от 3% до 14%. Случайная относительная погрешность определения a составляет (9–46)%.

Определены сезонные и между годовые вариации τ_a , a и W . Усредненный за 4 года сезонный ход $\tau_a(500)$ показывает максимальное значение в июле $\tau_a(500) = 0.140$ и минимальное в декабре, когда $\tau_a(500) = 0.047$. Для всех длин волн сезонные изменения τ_a примерно подобные и имеют постепенный рост с января по июль и быстрый спад с сентября по декабрь. Можно предположить, что отклонение сезонного хода τ_a от синусоиды связано с тем, что с января по май в район станции Иссык-Куль за счет трансграничного дальнего переноса поступают воздушные массы из различных регионов, в то время как во второй половине года в атмосфере над станцией Иссык-Куль преобладает аэрозоль, формируемый за счет процессов испарения с поверхности озера.

Параметр ангстрема изменяется в широких пределах от 0.5 до 3.5 и его колебания находятся в противофазе с изменениями τ_a . Для каждого сезона определена спектральная зависимость τ_a . Построены гистограммы среднедневных значений для τ_a и a . Чаще всего (около 49% от общего числа измерений) параметр ангстрема изменяется в пределах 1.0–1.5. Наиболее вероятные значения $\tau_a(500)$ укладываются в интервал 0.05–0.10. Обе гистограммы имеют асимметрию с пологим спадом в области больших значений.

Вариации среднемесячных W имеют четко выраженный сезонный ход. Максимальные летние (около 2.3 см) и минимальные в начале зимы (около 0.60 см) значения мало изменяются год от года. Можно считать, что влагосодержание в атмосфере над станцией Иссык-Куль, из-за замкнутости Иссык-Кульской котловины, в основном определяется процессами испарения воды с поверхности озера. Исследованы корреляционные связи между параметром Ангстрема и $\tau_a(500)$, а так же между влагосодержанием и $\tau_a(500)$.

Устойчивая связь между W и $\tau_a(500)$ (коэффициент корреляции $R = 0.62$) свидетельствует о том, что структура аэрозоля в атмосфере над станцией Иссык-Куль в значительной степени определяется процессами испарения с поверхности озера Иссык-Куль.

Работа выполнена при финансовой поддержке Международного научно-технического центра (грант Kг-763), Российского фонда фундаментальных исследований (грант 04-05-64702) и Киргизского агентства по науке и интеллектуальной собственности (тема 4/97).

Влияние аэрозоля на радиационный режим безоблачной атмосферы по данным Звенигородских аэрозольно-облачно-радиационных экспериментов

Голицын Г.С., Горчакова И.А. (gor@ifaran.ru), Мохов И.И.

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 109017 Москва, Россия

Рублев А.Н.

Российский научный центр "Курчатовский институт", пл. Курчатова 1, 123182 Москва, Россия

По данным Звенигородских аэрозольно-облачно-радиационных экспериментов 2001 г. и 2002 г. для безоблачных условий оценивается аэрозольный радиационный форсинг (АРФ) на поверхности, на верхней границе атмосферы, поглощение атмосферы. В том числе получены оценки АРФ для задымленной атмосферы в период летне-осенних пожаров 2002 года. Анализируется чувствительность АРФ к вариациям оптической толщины аэрозоля, альбедо однократного рассеяния, фактора асимметрии индикатрисы рассеяния аэрозоля и альбедо поверхности.

Статистическое моделирование переноса радиации в кристаллических облаках с учетом оптической анизотропии

Пригарин С.М. (smp@osmf.ssc.ru)

Институт выч. математики и мат. геофизики СО РАН, пр. Лаврентьева 6, 630090 Новосибирск, Россия

Боровой А.Г., Гришин И.А., Журавлева Т.Б.

Институт оптики атмосферы СО РАН, Академический 1, 634055 Томск, Россия

Коэн А.

Университет Иерусалима, Израиль

Оппель У.Г.

Мюнхенский Людвиг-Максимилиан Университет, Германия

Предложена математическая модель переноса излучения в атмосферной облачности с оптической анизотропией относительно зенитного угла падающего излучения с учетом многократного рассеяния. Разработаны методы Монте-Карло и программное обеспечение для моделирования переноса оптического излучения в плоском слое с анизотропной рассеивающей средой. Выполнены вычислительные эксперименты для сред, состоящих из ледяных кристаллов различной формы. Локальные оптические характеристики анизотропной среды (индикатрисы и сечения рассеяния) вычислялись на основе геометрического подхода, описанного в [1]. Проведено сравнение радиационных свойств облачности для кристаллов с

изотропной ориентацией в пространстве и с преимущественной ориентацией в горизонтальной плоскости.

Работа выполнена при финансовой поддержке ИНТАС (01-0239), РФФИ (03-05-64655, 03-05-64745), СО РАН (2003-2) и президентской программы "Ведущие научные школы" (НШ-1271.2003.1).

1. Borovoi A., I. Grishin, and U. Oppel. Mueller matrix for oriented hexagonal ice crystals of cirrus clouds. In: Eleventh International Workshop On Multiple Scattering LIDAR Experiments (MUSCLE 11), November 1–3, 2000, Williamsburg, Virginia, USA; organized by NASA Langley Research Center, Hampton, Va, USA, 81-89.

Вычисление матриц рассеяния для ледяных кристаллов перистых облаков со сложной формой и преимущественной ориентацией

Бурнашов А.В. (bvaleksey@iao.ru), Мохосоев А.К., Боровой А.Г.

Институт оптики атмосферы СО РАН, пр. Академический 1, 634055 Томск, Россия

Коэн А.

Университет Иерусалима, Израиль

Более 30% всех облаков на поверхности Земли составляют перистые облака, которые существенно влияют на погоду и климат. Перистые облака представляют собой совокупность ледяных кристаллов различных форм. Известно, что небольшие кристаллы с размерами меньше 5 микрон можно считать хаотически ориентированными в пространстве. Но наиболее активные относительно величины рассеянного излучения крупные кристаллы зачастую имеют преимущественную ориентацию относительно вертикального направления, что проявляется, например, в известных оптических атмосферных явлениях. Поэтому для корректного расчета прохождения и рассеяния света в перистых облаках требуется знать матрицы рассеяния не только для хаотически ориентированных, но и для преимущественно ориентированных в пространстве ледяных кристаллов.

В связи со значительными затратами компьютерного времени при решении задачи рассеяния света на ледяных кристаллах перистых облаков, подавляющее большинство авторов, занимающихся этой проблемой, ограничиваются случаем хаотической ориентации частиц. К тому же, в этом случае достаточно рассчитывать только 6, а не все 16 элементов матрицы рассеяния (Мюллера). К настоящему времени только несколько опубликованных работ посвящены расчету матриц рассеяния на ледяных кристаллах с преимущественной ориентацией.

В данной работе приводятся результаты расчета матриц рассеяния света на кристаллах различных форм в двух случаях: а) кристаллы жестко ориентированы в вертикальном направлении, но имеют хаотическую ориентацию в горизонтальной плоскости; б) дополнительно допускаются колебания ориентации относительно вертикального направления с некоторым законом распределения. Полученные результаты используются для оценки влияния преимущественной ориентации кристаллов на оптические характеристики перистых облаков.

Работа поддержана грантами INTAS (01–0239), CRDF (RG2–2357–TO–02) и РФФИ (03–05–64745).

Параметризация основных характеристик рассеяния оптического излучения кристаллической облачностью

Петрушин А.Г. (las@iem.obninsk.ru)

Институт экспериментальной метеорологии, НПО "Тайфун", Ленина 82, Обнинск, Россия

Выполнена параметризация отдельных характеристик рассеянного излучения кристаллической облачностью от параметров ее микроструктуры с целью использования относительно простых аппроксимационных зависимостей указанных характеристик в

различных климатических моделях, моделях прогноза погоды и т.д. Расчеты индикатрис рассеяния, факторов эффективности ослабления, рассеяния и поглощения были проведены с использованием методик расчетов этих характеристик [1, 2]. В качестве моделей распределения ледяных кристаллов (столбиков и пластинок) использовались функции распределения по размерам [3].

Проделанные расчеты оптических характеристик дают основание сделать несколько выводов относительно возможной параметризации:

- при проведении оценок фактора эффективности ослабления гексагональными призмами с хаотической ориентацией в пространстве и с размерами, соизмеримыми с длиной волны излучения, можно использовать выражения Ми для однородных сферических частиц с тем же самым комплексным показателем преломления и эффективным размером R_{32} ;
- фактор эффективности поглощения для гексагональных призм с различной ориентацией в пространстве с относительно невысокой относительной ошибкой может быть описан предложенной аналитической зависимостью в функции R_{32} ;
- при малых углах рассеяния, при которых превалирует дифракция излучения, индикатриса рассеяния излучения крупными, по сравнению с длиной волны падающего излучения, ледяными частицами может быть с достаточной точностью описана индикатрисой рассеяния излучения ледяными сферическими частицами с теми же самыми эффективными размерами R_2 , что и ледяные частицы.

1. Петрушин А. Г. Рассеяние света ледяными гексагональными призмами. 1. Малые (дифракционные) углы рассеяния. *Изв. РАН, сер. ФАО*, 1994, **30**, 3, 309 - 318.
2. Петрушин А. Г. Рассеяние света ледяными гексагональными призмами. 2. Большие (не дифракционные) углы рассеяния. *Изв. РАН, сер. ФАО*, 1998, **34**, 4, 573 - 580.
3. Петрушин А. Г. Индикатриса рассеяния излучения элементарным объемом кристаллической облачной среды при малых углах рассеяния. *Изв. РАН, сер. ФАО*, 1996, **32**, 2, 189-198.

Разработка оптической модели перистых облаков

Боровой А.Г. (borovoi@iao.ru), Кустова Н.В

Институт оптики атмосферы СО РАН, пр. Академический 1, 634055 Томск, Россия

Коэн А.

Университет Иерусалима, Израиль

Оппель У.Г.

Мюнхенский Людвиг-Максимилиан Университет, Германия

Влияние перистых облаков на радиационный бюджет Земли является в настоящее время одной из актуальных и, в значительной степени, нерешенных проблем атмосферной оптики. Для учета такого влияния, когда рассчитывается прохождение и отражение солнечного излучения в атмосфере Земли, требуется знать оптические характеристики перистых облаков: коэффициенты рассеяния и экстинкции и индикатрису рассеяния. При учете поляризации света, эти оптические характеристики заменяются на более громоздкие матрицы рассеяния и экстинкции для параметров Стокса. Совокупность этих оптических характеристик будем называть оптической моделью перистых облаков.

Главным препятствием при разработке оптической модели перистых облаков является то, что решение задачи рассеяния света на ледяных кристаллических частицах заданной формы требует существенных затрат компьютерного времени, зачастую на уровне возможностей современных стандартных персональных компьютеров. Поэтому в настоящее время в литературе имеются только разрозненные данные по матрицам рассеяния света для ледяных кристаллических частиц достаточно простых форм и при их хаотической ориентации.

Можно предложить несколько способов построения искомой оптической модели перистых облаков. Во-первых, можно рассчитать матрицы рассеяния для всех наиболее

существенных форм кристаллов в перистых облаках. Затем суперпозиция этих данных для заданных статистических распределений по размерам и формам кристаллов приведет к искомой оптической модели. Этот наиболее прямой способ построения оптической модели пока никем не реализован из-за чрезмерных требований к вычислительной мощности компьютеров. Второй способ заключается в подборе некоторой эффективной формы кристалла, матрица рассеяния на котором с достаточной для практики точностью соответствовала бы экспериментально измеренной матрице рассеяния. Несколько попыток в этом направлении, предпринятых некоторыми авторами, показали неэффективность такого подхода. Как оказалось, если форма кристалла подбиралась достаточно хорошо для одного элемента матрицы рассеяния, она оказывалась не оптимальной для других элементов матрицы.

Наш способ построения оптической модели базируется на том факте, что индикатрисы рассеяния света на хаотически ориентированных ледяных кристаллических частицах различной формы имеют одинаковую структуру. А именно, они состоят из резких пиков в направлениях рассеяния вперед, назад и в направлениях гало. В связи с этим, в искомой оптической модели мы основное внимание уделили только величине этих пиков и некоторому минимальному числу параметров, характеризующих их форму. В остальной области углов рассеяния мы используем простую аппроксимацию. Далее, мы утверждаем, что эти параметры индикатрисы рассеяния целесообразно связывать не с конкретной формой кристаллов, а с характеристиками, имеющими простой геометрический смысл относительной длины ребер кристалла при двугранных углах заданной величины. В результате исходными микрофизическими величинами при построении оптической модели перистых облаков становятся не статистические распределения кристаллов по их размерам и форме, а весовые сомножители, учитывающие статистический вес двугранных углов с заданным раскрытием. В докладе приводятся численные результаты, обосновывающие и подтверждающие эффективность предлагаемой оптической модели перистых облаков.

Работа поддержана грантами INTAS (01-0239), CRDF (RG2-2357-TO-02) и РФФИ (03-05-64745).

Оптическая фрактальная анизотропия в облаках и статистическое моделирование связанных с ней радиационных эффектов

Пригарин С.М. (smp@osmf.sccc.ru)

Институт выч. математики и мат. геофизики СО РАН, пр. Лаврентьева 6, 630090 Новосибирск, Россия

Выдвигается гипотеза о том, что оптическая анизотропия облачной среды в атмосфере может быть обусловлена не только формой и ориентацией рассеивающих частиц, но и случайным непуассоновским распределением частиц в пространстве. Таким образом, для жидко-капельных облаков оптическая среда может проявлять значительную анизотропию и при сферической форме капель, если капли распределены в пространстве специальным образом. Одна из возможных моделей такого распределения частиц в пространстве связана с концентрацией частиц на множествах размерности меньше трех, что явилось причиной появления термина "фрактальная анизотропия".

В работе предлагается математическое описание фрактальной анизотропии, и приводятся результаты вычислительного эксперимента на основе статистического моделирования, в котором исследуются возможные радиационные эффекты, вызванные фрактальной анизотропией в облачном слое.

Работа выполнена при финансовой поддержке ИНТАС (01-0239), РФФИ (03-05-64655, 03-05-64745), СО РАН (2003-2) и президентской программы "Ведущие научные школы" (НШ-1271.2003.1).

Взаимодействие радиации с различными видами и формами облаков в г. Ташкенте и его пригороде

Абдуллаев Х.М., Кратенко А.Ю. (sanigmi@albatros.uz)

*Среднеазиатский научно – исследовательский гидрометеорологический институт им. В.А. Бугаева,
ул. К. Максумова 72, 700052 Ташкент, Республика Узбекистан*

Покровский О.М. (pokrov@main.mgo.rssi.ru)

Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

Основным источником тепла и света на земной поверхности является лучистая энергия солнца. В актинометрии и атмосферной оптике практическое значение имеет излучение с длинами волн от 0.20 до 25 мкм. Обычно этот диапазон разбивается на пять областей, но в данной статье рассматриваются только две: видимая и фотосинтетически активная радиация (ФАР).

Для климатологов, метеорологов и агрометеорологов представляет интерес распределение солнечной радиации в различных участках спектра, как в крупных мегаполисах, каким является г. Ташкент, так и в его пригороде. Для решения многих практических задач, связанных с изучением распределения солнечной радиации внутри мегаполиса и за его пределами, в различных экосистемах необходимо знать не только приходящую солнечную радиацию, но и ее высотное распределение в приземном слое воздуха. Кроме того, влияние различных видов и форм облаков может значительно изменить картину радиационного режима как в городе, так и в его пригороде, особенно в различных растительных средах. В связи с этим проблемы, затронутые в данной статье, имеют практическое значение.

В основную задачу исследований входило: изучение взаимодействия солнечной радиации с различными видами и формами облаков в г. Ташкенте и его пригороде (в различных растительных средах – хлопчатник, кукуруза, пшеница, рис).

Экспериментальных исследования составляющих суммарной радиации в видимой области спектра выполнены актинометрическими приборами Ю.Д. Янишевского, а в области спектра ФАР – фарометром – прибором, сконструированным в САНИГМИ. Методика экспериментов в видимой области спектра – общепринятая, за исключением наблюдений в области спектра ФАР, которая разработана в САНИГМИ.

Анализ составляющих суммарной радиации в видимой области спектра и в области спектра ФАР проводился по данным многолетних наблюдений актинометрической станции Ташкент-Обсерватория, а в его пригороде – по результатам специальных исследований, проводимых на экспериментальной базе САНИГМИ в 1993–2003 гг.

Проведенные исследования и их анализ показали, что изменение суммарной солнечной радиации в указанных областях спектра в различные сезоны года неоднозначно. Наибольшие изменения наблюдаются в период зима–осень, которые составляют 15–20% (видимая область спектра) и 20–25% (область спектра ФАР). Наименьшие изменения отмечены в период лето–весна и составляют 7–10% (видимая область спектра) и 10–15% (область спектра ФАР). Среднегодовые значения суммарной солнечной радиации в пригороде на 15–20% больше, чем в городе. Следует отметить, что изменение розы ветров может значительно изменить месячные и сезонные суммы суммарной солнечной радиации. Если направление ветра в пригороде совпадает с источником загрязнения, то сумма радиации в пригороде, полученная за определенный период, может приблизиться (и даже быть меньшей) к значениям в городе. Так, в отдельные летние дни года эксперименты выявили уменьшение показаний суммарной радиации в пригороде по сравнению с городом на 20–30%.

При решении ряда практических задач необходимо учитывать влияние отдельных форм облаков на солнечную радиацию. В связи с отсутствием необходимых данных наблюдений в пригороде были проведены экспериментальные исследования за составляющими суммарной радиации в приземном слое атмосферы, которые показали, что существуют тесные связи между суммарной, прямой и рассеянной радиацией в различных участках спектра в

зависимости от высоты солнца и различных форм облаков, которые были объединены в соответствии с принятой международной классификацией на верхний, средний и нижний ярусы. В результате подбора различного типа кривых было выявлено, что наиболее подходящей связью между предиктантом и предиктором является уравнение прямой с довольно высокими коэффициентами корреляции.

Наиболее тесные связи между предиктантом и предиктором были получены в области спектра ФАР. Коэффициент корреляции полученных уравнений при различных формах облаков изменяется от 0.995–0.998 (облака верхнего яруса) до 0.983–0.992 (облака нижнего яруса). Полученные уравнения применимы для высот солнца 10–70°. На малых высотах солнца (5–10°) точность расчета солнечной радиации понижается на 5% (облака верхнего яруса), 10% (облака среднего яруса) и более 20% (облака нижнего яруса).

Пространственная структура полей собственного излучения кучевых (Cu) облаков в тропиках и в средних широтах Европейской территории России

Алленов М.И. (allenov@typhoon.obninsk.org), Иванова Н.П.

Институт экспериментальной метеорологии ГУ НПО «Тайфун», Ленина 82, 249038 Обнинск Калужск. обл., Россия

Радионов В.Ф.

Арктики и Антарктики научно-исследовательский институт, Беринга 38, 199397 Санкт-Петербург, Россия

В докладе представляются результаты сравнения пространственных структур полей собственного излучения Cu в тропической зоне над океаном и над Европейской территорией России (ЕТР) в районах 50–60° северной широты, полученных при помощи сканирующей высокочувствительной аппаратуры с высоким пространственным разрешением (до единиц угловых минут) [1, 2].

Показано, что структура полей излучения Cu в тропиках несколько "измельченная". Дисперсии флуктуаций энергетической яркости (ЭЯ) в диапазоне 8–13 мкм в интервале пространственных частот от 15 до 200 рад⁻¹ для сходных условий измерений (при одинаковых зенитных углах, длинах реализации, равных 60–80° при сканировании по азимуту, и количестве облачности 4–6 баллов) практически всегда в 2–4 раза превышают дисперсии Cu над ЕТР. Несколько выше у тропических Cu и средние значения флуктуаций ЭЯ. Корреляционные функции флуктуаций яркости полей облаков ЕТР спадают медленнее, чем у полей тропических Cu, что говорит о более крупных масштабах неоднородностей облачности ЕТР. Радиусы корреляции на уровне 0.5 в среднем на 1–3 градуса больше у Cu ЕТР. Результаты получены по статистически обеспеченным данным и практически всегда повторяются. Подобный характер структур полей ЭЯ Cu был отмечен также учеными Эстонии под руководством Ю.-А.Р. Мулламаа, о чем подробно сообщалось в [3].

1. Алленов М.И. Методы и аппаратура спектрорадиометрии природных сред. - М.: Гидрометеиздат, 1992. – 262 с.
2. Алленов А.М., Алленов М.И., Иванов В.Н., Соловьев В.А. Стохастическая структура излучения облачности. – С.-П.: Гидрометеиздат, 2000. – 175 с.
3. Алленов М. И. Структура оптического излучения природных объектов. – М.: Гидрометеиздат, 1988. – 164 с.

Спектрополяриметрические исследования приземного аэрозоля

Исаков А.А. (gengor@ifaran.ru)

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 119017 Москва, Россия

Анализируются статистические характеристики оптических и микрофизических параметров приземного аэрозоля, полученные в 2000–2001 гг. на Звенигородской научной

станции ИФА с помощью проточного поляризационного спектрополяриметра. Прибор регистрировал спектральные зависимости поляризационных компонент индикатрисы рассеяния $D_{11}(\varphi, \lambda)$ на трех углах рассеяния $\varphi = 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ в диапазоне длин волн $\lambda = 0.4\text{--}0.75$ мкм для аэрозоля *in situ* и его сухой основы. Полученная информация позволяет с помощью решения обратной задачи оценивать распределение по размерам частиц аэрозоля и комплексный показатель преломления их вещества. Ниже анализируются данные ежедневных наблюдений 2000–2001 гг., всего около 3000 реализаций. Данные разбиты на 6 подансамблей по сезонному принципу – февраль–середина апреля (до схода снега), середина апреля–конец мая, начало июня–конец августа. Ранее нами уже отмечалось, что спектральные зависимости D_{11} в диапазоне 0.4–0.65 мкм с точностью в несколько процентов аппроксимируются обратностепенным законом (формула Ангстрема) $D \sim \lambda^{-\alpha}$. Среднее по ансамблю значение $\langle \alpha \rangle$ имеет тенденцию уменьшаться от $\alpha = 2.1$ зимой до 1.9 летом, существует отчетливая корреляционная связь между величинами D и α (коэффициент корреляции $R \approx 0.75$ описывает половину полной дисперсии α). В качестве разрушителей связи в теплое время года выступают ситуации сухой ветреной погоды в холодных секторах циклонов и антициклонов, когда на фоне понижения общего уровня рассеяния возрастает роль грубодисперсной фракции аэрозоля.

Анализ микрофизических характеристик показал, что коэффициент корреляции величины суммарного объема частиц в диапазоне размеров $r = 0.05\text{--}1.5$ мкм с величиной коэффициента направленного рассеяния $D_{11}(45^\circ, 0.54 \text{ мкм})$ достигает $R = 0.98$, что позволяет восстанавливать суммарный объем V_Σ по D_{11} со среднеквадратичной ошибкой около 15%, причем коэффициент пропорциональности K в формуле $V_\Sigma = KD_{11}$ не зависит от сезона и имеет величину $K = 3.2 \pm 0.2$ (объем V_Σ в $\text{мм}^3/\text{М}^3$). Сопоставление параметра K с таковым, полученным ранее Г.И. Горчаковым и др. [1] показало, что $K = 2$ в микрофизической модели ИФА соответствует ситуации, когда распределение частиц ограничено размером $r \approx 0.8$, т.е. модель действительно описывает именно субмикронный аэрозоль.

Величина показателя преломления вещества сухой основы частиц аэрозоля имеет тенденцию уменьшаться от $n = 1.6$ при слабом (D_{11} порядка $0.002\text{--}0.005 \text{ км}^{-1}\text{ср}^{-1}$) рассеянии до величины $n = 1.45$ в летних плотных дымках при D_{11} около $0.03\text{--}0.05 \text{ км}^{-1}\text{ср}^{-1}$, основная масса результатов соответствует $n = 1.5\text{--}1.55$.

1. Горчаков Г.И., Емиленко А.С., Свириденков М.А. Однопараметрическая модель приземного аэрозоля. *Изв. АН СССР. ФАО*, 1981, 17, 1, 39–49.

Влияние влажности на показатель и коэффициент асимметрии индикатрисы рассеяния света радиально-неоднородными частицами аэрозоля в пограничном слое над морем

Кокорин А.М. (akm438889@lsi.ru)

СПб филиал института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 1-я линия В.О. 30, 199053, Санкт-Петербург, Россия

В работе теоретически анализируется влияние внутренней структуры частиц морского аэрозоля на величину коэффициента асимметрии (КА) и показателя асимметрии (ПА) индикатрисы рассеяния (the backscattering probability and mean cosine of the phase function). Эти характеристики часто используются при расчетах радиационного и термического режима пограничного слоя атмосферы над морской поверхностью.

Анализ выполнен в приближении полидисперсных систем частиц (ПСЧ) (обратно-степенного распределения частиц по размерам), просветленных (ПС), двухслойных (ДС) и однородных (ОС) сфер в диапазоне размеров и оптических констант, характерных для частиц морского аэрозоля. Модель ПС представляет собой двухслойную сферическую частицу с однородным непоглощающим ядром и степенным профилем показателя преломления

неоднородной оболочки. Частицы типа ПС (например, ядра конденсации в стадии обводнения) часто встречаются в атмосфере, вместе с тем, влияние их на оптические свойства аэрозоля мало изучено.

В работе рассматривается два возможных механизма обводнения ансамбля аэрозольных частиц во влажной атмосфере: а) равномерное набухание всего объема частиц с уменьшением показателя преломления и увеличением размеров частиц (модель ОС); б) укрупнение частиц с частичным растворением первоначально сухого ядра (модели ПС и ДС).

Результаты численного моделирования характеристик КА и ПА проанализированы для 30 различных фракций морского аэрозоля (при изменении относительной влажности в диапазоне от 10% до 95%).

Показано, что для рассматриваемых фракций характеристика ПА слабо чувствительна к механизму обводнения частиц аэрозоля. При различных условиях расчета ПА для рассматриваемых моделей характеристика ПА для ансамбля просветленных сфер с погрешностью, не превышающей 6–8%, может быть аппроксимирована с помощью модели однородных частиц со средним по объему показателем преломления.

Для рассматриваемых моделей на примере двух наиболее оптически активных фракций аэрозольных частиц (аккумулятивной и грубодисперсной) рассмотрены характерные закономерности трансформации характеристик КА при изменении относительной влажности воздуха. Показано, что зависимость КА от относительной влажности существенным образом зависит от механизма обводнения гигроскопичных частиц во влажном воздухе и микроструктурных характеристик ансамбля малых неоднородных гигроскопичных частиц, моделирующих реальный аэрозоль.

Показано, что коэффициент асимметрии при значениях относительной влажности больших 60% не может быть с удовлетворительной точностью аппроксимирован с помощью систем двухслойных и однородных сфер. Неучёт радиальной неоднородности структуры аэрозольных частиц может привести к большим погрешностям при оценке КА ансамбля частиц реального морского аэрозоля. Эти различия наименьшие для систем с узкими распределениями (не превышают 25 процентов) становятся весьма значительными (достигая 150% и более) при увеличении в рассеивающем объеме доли крупных частиц. Поэтому, используя ПСЧ двухслойных и однородных сфер, нельзя с малыми погрешностями оценить характеристику КА. Это обстоятельство может служить причиной больших погрешностей при расчете радиационного и термического режима пограничного слоя атмосферы.

1. Кокорин А.М., Шифрин К.С.. Влияние влажности на локационное рассеяние ансамбля малых гигроскопичных неоднородных частиц. *Оптический журнал*, 2003, **70**, 5, 62-67.

Особенности углового распределения яркости безоблачного неба при больших зенитных углах наблюдения: результаты численного и натурного экспериментов

Насретдинов И.М. (wizard@iao.ru), Сакерин С.М., Кабанов Д.М.

Институт оптики атмосферы СО РАН, Академический 1, 634055 Томск, Россия

Для восстановления оптических характеристик аэрозоля широко используются методы солнечной фотометрии атмосферы, основанные на интерпретации углового распределения радиации в области солнечного альмукантарата. Для дальнейшего развития методов необходимо получение более полных данных о закономерностях формирования поля яркости безоблачного неба, в частности, для больших зенитных углов наблюдения.

С этой целью летом 2003 года было проведено экспериментальное исследование угловых распределений диффузной радиации для пригоризонтной зоны небосвода. Эксперимент проводился в лесной зоне (полигон "Фоновый" ИОА СО РАН) на удалении 60 км от Томска и включал в себя три типа измерений:

1. яркость неба в альмукантарате Солнца;
2. азимутальное распределение яркости неба в области горизонта ($80-89^\circ$);
3. зависимость яркости неба от зенитного угла наблюдения.

В эксперименте использовались сканирующий фотометр, позволяющий проводить измерения в диапазоне спектра $0.44-1.06$ мкм и солнечный фотометр для сопровождающих измерений аэрозольной оптической толщи в диапазоне $0.37-1.06$ мкм.

В докладе рассматриваются предварительные результаты экспериментальных исследований спектральных полей яркости безоблачного неба в альмукантарате Солнца и в пригоризонтной зоне небосвода, а также проводится сопоставление результатов эксперимента с численными расчетами.

Показано, что с приближением к горизонту яркость может увеличиваться, достигать некоторого максимума (насыщения) и затем начинает уменьшаться. Данная закономерность обусловлена, в первую очередь, компонентой однократного рассеяния, а положение максимума определяется в основном оптической толщиной атмосферы. В ряде случаев, например, в условиях высокой прозрачности атмосферы, яркость является монотонно возрастающей функцией зенитного угла наблюдения. Данные натурных измерений подтверждают обнаруженные в результате численного моделирования закономерности в изменении яркости неба при больших зенитных углах наблюдения.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 02-05-64492 и DOE's ARM program (контракт №5012).

Исследование точности восстановления микрофизических характеристик аэрозоля по данным нефелометрических измерений

Терпугова С.А. (swet@iao.ru), Панченко М.В.

Институт оптики атмосферы СО РАН, Академический 1, 634055 Томск, Россия

Проблема оценки микрофизических параметров атмосферного аэрозоля по данным оптических измерений представляет собой типичную некорректную задачу.

В данной работе рассматривается проблема восстановления спектра размеров и комплексного показателя преломления частиц атмосферного аэрозоля с использованием данных, полученных при помощи спектрального поляризационного нефелометра ФАН, а именно коэффициентов направленного рассеяния под углом 45° на трех длинах волн (0.41 , 0.5 и 0.63 мкм) и его ортогональных поляризационных составляющих под углом 90° на двух длинах волн (0.45 и 0.51 мкм).

Для восстановления распределений частиц по размерам и их показателя преломления использовался итерационный алгоритм, основанный на методе Твитти [1] и адаптированный для конкретной задачи обращения семи компонент рассеянного излучения, измеренных при помощи нефелометра ФАН [2].

Задача рассматривалась как для данных натурального эксперимента, так и для модельных аэрозольных сред. В качестве последних рассматривались широкие логнормальные распределения с модальным радиусом $0.05-0.2$ мкм и показателем преломления $1.4-1.6$. На оптические параметры наносилась случайная ошибка измерений, которая для разных измеряемых компонент составляет $20-50\%$ от значения соответствующей компоненты молекулярного рассеяния.

Анализ показал, что погрешность восстановления действительной части показателя преломления составляет ± 0.02 при значениях коэффициента рассеяния под углом 45° на длине волны 0.5 мкм больше или порядка $0.01 \text{ км}^{-1} \text{ стер}^{-1}$ и может достигать значений ± 0.008 при уровне рассеяния $\sim 0.003 \text{ км}^{-1} \text{ стер}^{-1}$. В работе также анализируется точность восстановления спектра размеров аэрозольных частиц.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 03-05-64787.

1. Twitty J.T. The inversion of aureole measurements to derive aerosol size distributions. *J. Atmos. Sci.*, 1975, **32**, 584–591.
2. Panchenko M.V., Sviridenkov M.A., Terpugova S.A. Sensitivity of nephelometric method for investigation of condensation processes in submicron aerosol. *Proceedings of SPIE*, 2003, **5397**, 43–49.

Влияние структурной модификации сажевого аэрозоля на его аэродинамические свойства

Рышкевич Т.И. (Tanya.Ryshkevich@pobox.spbu.ru), Шарыпов Д.А., Власенко С.С., Михайлов Е.Ф.

НИИ физики Санкт-Петербургского государственного университета, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Время жизни аэрозолей является одним из ключевых параметров, определяющих степень их участия в радиационном балансе атмосферы. По сравнению с частицами другого состава сажевые аэрозоли обладают высокой оптической активностью [1], поэтому изучение процессов, связанных с их переносом и осаждением, является актуальной задачей физики атмосферы.

Водяной пар является главным газовым компонентом атмосферы, воздействующим, через процессы конденсации/испарения, на структуру аэрозоля, а, значит, и на его аэродинамические свойства. Поэтому эффект изменения структуры должен обязательно учитываться в оценках времени жизни и транспортных свойств сажевых частиц. Усложняющим обстоятельством является зависимость этого эффекта от свойств поверхности аэрозоля, прежде всего от степени ее гидрофильности. В связи с этим, скорость седиментации изучалась в зависимости от влажности для гидрофильной и гидрофобной сажи с одинаковой исходной химической структурой.

Методика определения скорости седиментации основана на *in-situ* измерении концентрации аэрозольных частиц в седиментационной камере через определенные интервалы времени. Ключевым моментом предложенной методики является дисперсный и морфологический, статистически репрезентативный, анализ осевших сажевых агрегатов под электронным микроскопом. Методом электронной микроскопии определялись следующие структурные параметры сажевого аэрозоля: число первичных частиц в агрегате, диаметр Ферре, радиус гирации и фрактальная размерность.

Для изучения взаимодействия аэрозольных частиц с парами воды исходная ацетиленовая сажа модифицировалась парами органических соединений, образующихся в процессе сгорания биомассы, моделируя тем самым природный аэрозоль в лабораторных условиях. Модификация осуществлялась за счет адсорбции паров глутаминовой кислоты на сажевых агрегатах, что придавало частицам гидрофильные свойства. Модифицированные аэрозольные частицы в среде насыщенного водяного пара трансформируются в компактные, практически сферические глобулы. По данным электронно-микроскопического анализа, эти структурные изменения приводят к росту фрактальной размерности от значения $1,45 \pm 0,03$ (для гидрофобных частиц) до величины $1,89 \pm 0,02$ (для гидрофильной сажи), а также к смещению дисперсных характеристик сажевого аэрозоля в область меньших размеров.

Результаты анализа аэродинамических свойств гидрофильной и гидрофобной сажи показывают, что модификация структуры частиц приводит к изменению характера зависимости скорости осаждения от размера агрегата. В отличие от немодифицированной сажи, зависимость скорости седиментации имеет монотонно-возрастающий характер. В то время как для гидрофобной сажи диапазон изменения скорости седиментации убывает в пределах от $1,8 \cdot 10^{-3}$ см/сек до $1 \cdot 10^{-3}$ см/сек, скорость осаждения гидрофильных агрегатов возрастает от величины $0,9 \cdot 10^{-3}$ см/сек (для частиц с радиусом Ферре 0,7 мкм) до значения 1,2 см/сек (для агрегатов с радиусом Ферре 1,9 мкм). Таким образом, проведенные исследования показали, что изменение поверхностных свойств частиц ацетиленовой сажи в

результате взаимодействия с атмосферной влагой приводит к изменению структурных и, как следствие, аэродинамических характеристик сажевого аэрозоля.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 02-05-64417.

1. Jacobson M.Z. Global direct radiative forcing due to multicomponent anthropogenic and natural aerosols. J. Geophys. Res., 2001, **106**, D2, 1551-1568.

Моделирование микрофизических и оптических характеристик полярных стратосферных облаков

Виролайнен Я.А., Тимофеев Ю.М., Поляков А.В.

НИИ физики Санкт-Петербургского государственного университета, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Стил Х., Дрдла Е.

Алабанский университет в Хантсвилле, Национальный центр космический и технологический центр, США

Ньючерч М.

Калифорнийский государственный университет, Нортридж, США

Проведено моделирование микрофизических свойств стратосферного аэрозоля и полярных стратосферных облаков (ПСО) на основе современной численной модели образования и трансформации аэрозольных частиц. Построены средние значения и ковариационные матрицы функции распределения частиц по размерам (ФРР), изучены их особенности для разных сценариев развития ПСО. Проанализированы возможности оптимальной параметризации ФРР и ее моментов на основе эмпирического базиса, построенного из собственных векторов ковариационных матриц. Показано, что для описания всех реализаций ФРР с погрешностью, не превышающей 5–10%, достаточно использовать только 6 коэффициентов разложения вместо первоначального задания ФРР в 39 бинах. Использование в качестве базиса "чужих" векторов при параметризации остальных моделей незначительно меняет относительные погрешности параметризации ФРР.

На основе алгоритмов теории Ми проведены расчеты спектральных коэффициентов аэрозольного ослабления (КАО) ПСО для большого числа реализаций (несколько сот тысяч) аэрозольного состояния стратосферы. Построены и проанализированы статистические характеристики КАО (средние значения и ковариационные матрицы). Показано, что для достижения 5% точности аппроксимации спектрального хода КАО в области 0.29–1.56 мкм достаточно использовать 4 члена разложения при оптимальной параметризации КАО по базису, состоящему из собственных векторов ковариационной матрицы КАО.

Изучены возможности восстановления ФРР и ее моментов методом множественной регрессии по известным с погрешностью 5–10% значениям КАО. Показано, что значительное уменьшение относительной априорной неопределенности ФРР при использовании регрессии наблюдается для диапазонов размеров частиц 0.06–2 мкм, при этом для частиц размером 0.5–0.7 мкм априорная неопределенность уменьшается с 400 до 60%. В области размеров частиц около 0.3 мкм наблюдается максимальное уменьшение абсолютной априорной неопределенности концентраций аэрозольных частиц (с 3.5 до 0.35 см⁻³). В области своих максимальных значений (около 0.1 мкм) при 5% точности задания КАО абсолютная априорная неопределенность уменьшается в 2 раза (с 7.6 до 3.8 см⁻³), при 25% точности КАО – в 1.5 (до 5.5 см⁻³). Также продемонстрировано, что из всех моментов ФРР лучше всего по измерениям КАО определяется общая площадь частиц, при этом априорная неопределенность S уменьшается в 4–5.5 раз.

СЕКЦИЯ 4. АТМОСФЕРНАЯ МОЛЕКУЛЯРНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ – БАНКИ ДАННЫХ, РАДИАЦИОННЫЕ АЛГОРИТМЫ И ИХ ВАЛИДАЦИЯ

Председатель: проф. М.В. Тонков (СПбГУ, Санкт-Петербург)

Сопредседатели: проф. Ю.Н. Пономарев (ИОА РАН, Томск), к.ф.-м.н. В.М. Осипов (ГОИ, Санкт-Петербург)

Глобальное описание колебательно-вращательных спектров молекул CO₂ и N₂O: от теоретических моделей к банкам спектроскопических данных

Ташкун С.А. (tashkun@mail.tomsknet.ru), Перевалов В.И.

Институт оптики атмосферы СО РАН, Академический 1, 634055 Томск, Россия

В докладе представлены расчетные банки параметров колебательно-вращательных переходов молекулы CO₂: CDSD-296, CDSD-IASI, CDSD-1000 и молекулы N₂O: NOCD-296, а также проведено их сравнение с банками HITRAN и HITEMP. Все банки созданы на основе теоретических моделей эффективных гамильтонианов и операторов дипольного момента [1-3]. Параметры этих моделей получены методом обратной задачи с использованием опубликованной экспериментальной информации о частотах и интенсивностях переходов. Обсуждаются основные этапы моделирования и создания банков.

Банки CDSD-296, CDSD-IASI ориентированы на атмосферные приложения. Банк CDSD-296 используется для восстановления колонного содержания CO₂ в атмосфере и получения профиля температуры на основе данных сенсора MIPAS, установленного на спутнике ENVISAT. Банк CDSD-IASI создается в расчете на сенсор IASI, который будет работать на спутнике METOP.

Банк CDSD-1000 [4] ориентирован на высокотемпературные приложения ($T = 1000\text{--}3000\text{ K}$).

Текущая версия атмосферного банка NOCD-296 содержит информацию об основном изотопе ¹⁴N₂¹⁶O.

1. Tashkun S.A., V.I. Perevalov, J.L. Teffo, L.S. Rothman, V.I.G. Tyuterev. Global fittings of ¹²C¹⁶O₂ vibrational-rotational line positions using the effective Hamiltonian approach. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 1998, **60**, 785-801.
2. Tashkun S.A., V.I. Perevalov, J.L. Teffo, V.I.G. Tyuterev. Global fit of ¹²C¹⁶O₂ vibrational-rotational line intensities using the effective operator approach. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 1999, **62**, 571-598.
3. Campargue A., G. Weirauch, S.A. Tashkun, V.I. Perevalov, J.L. Teffo. Overtone spectroscopy of N₂O between 10000 and 12500 cm⁻¹: a test of the polyad approach. *J. Mol. Spectrosc.*, 2001, **209**, 198-206.
4. Tashkun S.A., V.I. Perevalov, J.L. Teffo, A.D. Bykov, N.N. Lavrentieva. CDSD-1000, high-temperature carbon dioxide spectroscopic databank, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 2003, **82**, 165-197.

Информационная система для решения задач атмосферной химии

Фазлиев А.З. (faz@iao.ru), Лаврентьев Н.А.

Институт оптики атмосферы СО РАН, Академический 1, 634055 Томск, Россия

Необходимость создания информационно-вычислительных систем (ИВС), доступных в сети Интернет, диктуется развитием современной инфраструктуры науки. Появление Интернета создало возможности для коллективной работы с данными и вычислительными моделями, находящимися в разных географических точках. Очевидным становится факт повсеместного перехода к Интернет технологиям при создании ИВС коллективного пользования.

В докладе представлены назначение, структура и типы задач атмосферной химии, решаемые в рамках созданной ИВС (<http://atchem.atmos.iao.ru>). Описание предыдущих

версий информационной системы дано в работе [1]. Стоит отметить, что программное обеспечение для реализации этих версий было довольно разрозненным, а перечень функций системы для работы с данными пользователя небольшим. Часть этих недостатков была позже удалена в нашей работе [2].

ИВС предназначена для исследования сосредоточенных систем, динамическое поведение которых определяется кинетическими уравнениями. Основными исследуемыми параметрами атмосферной химической системы в ИВС являются модель атмосферы, альbedo поверхности и зенитный угол.

Созданное для работы с пользователями меню включает в себя восемь корневых пунктов (базы данных, реакции, среда, кинетика, анализ, результаты). В пункте "Базы данных" пользователь может дополнять систему данными об элементарных веществах и реакциях, в которых они участвуют. Данные о скорости химических реакций и комментарии к ряду реакций внесены в ИВС из публикаций [3, 4]. В пункте "Реакции" можно получить информацию об атмосферных химических реакциях и создавать произвольные наборы реакций для их дальнейшего исследования. Реакции разбиты на две группы: в первую входят полные реакции, все реагенты и продукты которых известны, а во вторую – реакции с неизвестными продуктами. Использование реакций второго типа характерно для открытых химических систем. В пункте "Среда" задаются разными способами внешние для химической системы атмосферные условия, такие как температура, спектральный ход интенсивности излучения и т.д. Вывод кинетических уравнений для открытых или замкнутых химических систем проводится в пункте "Кинетика". Размыканием химической системы можно проводить задание источников и стоков в кинетических уравнениях. После вывода кинетических уравнений в ИВС можно вывести законы сохранения (если таковые имеются), рассчитать коэффициенты скорости реакций (наиболее сложен расчет скорости фотолизной реакции, требующий задания атмосферных условий или спектральной зависимости интенсивности излучения). В пункте "Анализ" проводится численное решение сгенерированных кинетических уравнений. Исследование и решение кинетических уравнений проводится численно. Для решения дифференциальных уравнений использован пакет программ Sundials [5]. Пункт "Результаты" содержит результаты решения задачи. Результаты вычислений могут быть представлены как в табличной, так и в графической форме.

Авторы благодарят фонд Интас (грант 00-189) за финансирования работы.

1. Гордов Е.П., Родимова О.Б., Фазлиев А.З. Атмосферно-оптические процессы: простые нелинейные модели. Томск, Изд-во ИОА СО РАН, 2002, 252с.
2. Ахлестин А.Ю., Лаврентьев Н.А., Фазлиев А.З. Информационные ресурсы по атмосферной химии. Труды 5 Всероссийской конференции "Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции", С-Пб., 29-31 октября 2003, 257–262.
3. Atkinson R., Baulch D.L., Cox R.A., et al. Evaluated Kinetic and Photochemical Data for Atmospheric Chemistry: Supplement VII, IUPAC Subcommittee on Gas Kinetic Data Evaluation for Atmospheric Chemistry. *J. Phys. Chem. Ref. Data*, 1999, **28**, 191.
4. Sander S.P., Friedl R.R., Golden D.M., et al. Chemical Kinetics and Photochemical Data for Use in Stratospheric Modeling. NASA Panel for Data Evaluation, Evaluation Number 14, JPL Publication 02-25 (2003).
5. <http://www.llnl.gov/CASC/sundials>.

База данных по оптическим характеристикам земной атмосферы для области спектра 0.2–1.1 мкм и высот 60–160 км

Хохлов В.Н. (Khokhlov@soi.spb.ru), Баздров И.И., Калинин Г.В., Наумова Н.Н.,
Обвинцева О.О.

ФГУП ВНЦ ГОИ им. С.И. Вавилова, Биржевая линия 12, 199034 Санкт-Петербург, Россия

Выполнен анализ состояния отечественных ракетных оптических исследований земной атмосферы. В настоящее время Россия не имеет собственной ракетной программы таких

исследований. В условиях дефицита отечественных экспериментальных данных всё более актуальным становится спасение от исчезновения данных прошлых лет.

Наиболее широкой ракетной программой остаётся отечественная программа экспериментальных исследований оптических характеристик околоземного космического пространства, разработанная и реализованная в 1974–1986 годах. Цель программы – определение высотного и углового хода излучения верхней атмосферы Земли и их зависимостей от широты, сезона, состояния солнечной и геомагнитной активности. В ходе программы с наземных полигонов и судов было произведено 78 успешных запусков метеорологических ракет МР-12 с уникальной бортовой оптической аппаратурой.

Для исследования высотного и углового хода излучения в области спектра 0.2–1.1 мкм было создано 7 типов фотометров для установки в блоке научной аппаратуры метеорологической ракеты МР-12. Один фотометр, сканирующий по пространству за счёт вращения ракеты, устанавливался под углом 55° к её оси. Второй – параллельно ракетной оси. Фотометры позволяли выполнять измерения при углах до Солнца более 30° .

Для обработки результатов в ГОИ им. С.И. Вавилова и ИПГ им. акад. Федорова Е.К. были созданы комплексы автоматизированной обработки экспериментальных данных, на которых и была выполнена обработка части информации об излучении атмосферы. Комплексы были демонтированы в 1985 году. Вместе с ними был утрачен доступ к первичной информации, хранящейся на магнитных лентах, и возникла угроза полной утраты первичных результатов дорогостоящих и высокотехнологичных ракетных экспериментов.

В 2002–2003 годах при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант РФФИ № 02-07-90055-в) был реализован проект по восстановлению доступа к первичным результатам отечественных ракетных исследований. Цель проекта – обеспечить теоретические исследования отечественными экспериментальными данными.

В ходе проекта были решены технические, программно-методические и алгоритмические задачи. Это позволило сохранить магнитные ленты с записями телеметрической информации, создать программно-аппаратурный комплекс её ввода в ПЭВМ и получить компьютерные копии телеметрических записей. Копии организованы в базу данных, являющуюся источником информации для теоретических исследований. Обширная сопроводительная документация по пускам хранится в информационной базе.

Выполнена обработка информации, хранящейся в базе данных первичной информации. Полный цикл обработки прошли данные 45 ракетных пусков. Результаты обработки организованы в базу данных оптических характеристик. База содержит результаты измерений излучения спокойной и возмущённой атмосферы, излучения серебристых облаков, полярных сияний в темное и светлое время суток, возмущений атмосферного излучения при воздействии метеорных потоков и эффектов полного солнечного затмения, а также результаты исследований углового распределения излучения на ракетных высотах. Она позволяет в полном объёме использовать богатейший отечественный экспериментальный материал в теоретических и прикладных задачах.

Определение температуры и давления по фойгтовскому профилю спектральной линии

Наумова Н. Н., Хохлов В.Н. (Khokhlov@soi.spb.ru)

ФГУП ВНИЦ ГОИ им. С.И. Вавилова, Биржевая линия 12, 199034 Санкт-Петербург, Россия

Анализ профилей спектральных линий является важным инструментом изучения различных явлений в атомной и молекулярной спектроскопии, связанной с проблемами в астрофизике, плазме, атмосферной химии и лазерной физике.

Существующие методы определения давления и температуры излучающих объектов преимущественно развиваются по двум направлениям. Так, Фурье-спектрометрия позволяет решать обратные задачи методами, опирающимися на теоретические расчеты спектра и

сравнение их результатов с наблюдениями, а лазерная спектроскопия оперирует параметрами одиночных линий. Часто содержащаяся в профиле линии информация о характеристиках среды используется не полностью.

Предложен метод определения температуры и давления по опорным точкам нормализованного профиля изолированной спектральной линии. Реализация метода требует расчёта функции Фойгта, которая представлена в виде суммы двух интегралов по конечному и бесконечному промежуткам [1, 2]. Вычисление первого из интегралов выполняется по квадратурным формулам, использующим полиномы Лежандра. Сравнение с данными [3–5] показало, что максимальное различие результатов расчёта фойгтовского профиля по разным методикам не превосходит 0.7%. Это позволило использовать выбранное нами представление функции Фойгта для определения доплеровской и лоренцевской полуширин, построить аппроксимирующий профиль линии и рассчитать среднеквадратическую ошибку аппроксимации.

Возможности методики иллюстрируются примерами анализа профилей спектральных линий, зарегистрированных в известных из литературы экспериментах с использованием техники лазерной и Фурье-спектроскопии высокого разрешения.

1. Salzer H.E. Formulas for calculating the error function of a complex variable. *Mathematical Tables*, 1951, 5, 34, 67–70.
2. Armstrong B.H. Spectrum Line Profiles: The Voigt Function. *JQSRT*, 1967, 7, 61–88.
3. Posener D.W. The shape of spectral lines: tables of the Voigt profile. *Australian. J. Physics*, 1959, 12, 2, 184–196.
4. Матвеев В.С. Приближенные представления коэффициента поглощения и эквивалентных ширин линий с фойгтовским контуром. *ЖПС*, 1972, 16, 2, 228–233.
5. Drayson S.D. Rapid computation of the Voigt profile. *JQSRT*, 1976, 16, 7, 611–614.

Интерференция линий в спектре метана при невысоком давлении. Полосы ν_2 и ν_3

Тонков М.В. (tonkov@niif.spb.su), Григорович Н.И., Григорьев И.М., Филиппов Н.Н.

Научно-исследовательский институт физики им. В.А. Фока СПбГУ, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Получены спектры ИК поглощения метана в смеси с гелием в области полосы ν_2 ($1400\text{--}1700\text{ см}^{-1}$) при давлениях 0.8 и 5 атм с разрешением $0.003\text{--}0.01\text{ см}^{-1}$. Эти же спектры рассчитаны как сумма лоренцевских контуров с использованием литературных данных для параметров линий [1, 2]. В некоторых участках спектра, где расположены группы сильно перекрывающихся линий, обнаружены существенные отклонения рассчитанных таким образом контуров от полученных в эксперименте кривых. Эти отклонения отнесены к появлению эффектов интерференции линий. Для учета этих эффектов в расчете мы использовали более точное выражение для контура перекрывающихся линий. Необходимая для этого расчета релаксационная матрица **W** была построена на основе рассчитанной теоретически матрицы скоростей вращательной релаксации state-to-state при столкновениях [2] путем введения ряда эмпирических закономерностей. Параметры матрицы **W** были найдены при исследовании полосы ν_3 CH_4 . Использование этой матрицы для расчета спектров в области полосы ν_2 обеспечивает хорошее согласие рассчитанных и полученных в эксперименте контуров.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Программы "Университеты России".

1. Rothman L.S., C.P. Rinsland, A. Goldman et al. The HITRAN molecular spectroscopic database and HAWKS (HITRAN atmospheric workstation): 1996 edition. *JQSRT*, 1998, 60, 665–710.
2. Grigoriev I.M., N.N. Filippov, M.V. Tonkov et al. Line parameters and shapes of high clusters: R branch of the ν_3 band of CH_4 in He mixtures. *JQSRT*, 2002, 74, 431–443.

Современные методы расчета спектральной прозрачности атмосферы, их согласованность и пути дальнейшего развития

Киселева М.С. (markiseleva@rambler.ru), Казбанов В.А., Голованов С.Н., Решетникова И.Н., Синельникова Г.Е.

ВНЦ "ГОИ им. С.И. Вавилова", Биржевая 12, 199034 Санкт-Петербург, Россия

Выполнен анализ наиболее распространенных современных методов и программ расчета спектральной прозрачности атмосферы в широкой области спектра при высоком, среднем и низком спектральном разрешении. Рассмотрены методы эффективных параметров среды, такие как "Инженерные методы ГОИ расчета спектральной прозрачности атмосферы" [1], программы расчетов Spak [2], программы LOWTRAN7 [3] и MODTRAN2 [4]. Осуществлены сопоставления спектров прозрачности атмосферы, рассчитанных с помощью этих методов, а также вычисленных путем line-by-line с использованием современных спектроскопических баз данных HITRAN при идентичных спектральных разрешениях. Определены погрешности и границы согласия сопоставляемых спектров.

Рассмотрены возможности дальнейшего развития способа line-by-line с использованием эффективных параметров среды, в частности аналитического метода [1, 2]. Отмечено, что использование методов эффективных параметров среды существенно расширяет возможности решения прямых и обратных задач атмосферной спектроскопии (расчеты спектральной прозрачности атмосферы для неоднородных трасс, высокая скорость расчетов в широких спектральных интервалах, упрощенные способы решения обратных задач спектрального анализа атмосферы и др.). С указанной целью рассчитывался массив спектров атмосферной прозрачности прямым методом line-by-line при разных разрешениях вплоть до разрешения, соответствующего $\Delta\nu = 0.01 \text{ см}^{-1}$ (где $\Delta\nu$ отвечает полуширине аппаратной функции). Расчеты проводились для горизонтальных трасс, расположенных на разных высотах в атмосфере, характеризующихся соответствующими реальными значениями концентраций поглощающих газов, длин оптического пути, давлений и температур.

Вычисленные путем line-by-line массивы функций спектрального пропускания атмосферы описывались с помощью уравнения прямой линии, полученного с использованием основной аналитической зависимости в методе [1, 2]. Предложенная форма представления функции атмосферного пропускания от эффективного количества поглощающего газа обеспечивает корректное определение обобщенных параметров поглощения в той же аналитической зависимости [1, 2].

Полученные и представленные в предлагаемой работе результаты демонстрируют очевидную правомерность описания спектров атмосферного пропускания при высоком спектральном разрешении с помощью эффективных параметров среды. Предложена физическая интерпретация полученных результатов.

Сформулированы выводы по проделанной работе, основными из которых можно считать следующие:

1. Разработанный ранее в [1, 2] аналитический метод эффективных параметров среды имеет универсальное значение и может быть успешно использован не только в области спектроскопии низкого разрешения, но также и в области спектроскопии высокого разрешения.
 2. Разработанный в рассматриваемой работе прием описания спектров атмосферной прозрачности при разных спектральных разрешениях, по существу, представляет основу нового метода, сочетающего два базовых – вычисления line-by-line и аналитического метода эффективных параметров среды – при сохранении достоинств обоих методов.
1. Киселёва М.С., Синельникова Г.Е., Фёдорова Е.О., Овчаренко И.Н. Инженерная методика расчёта спектральной прозрачности атмосферы в области 0.22–6.0 мкм для источников неселективного излучения. Отчёт ГОИ, 1989, с. 136.

2. Киселёва М.С., Голованов С.Н., Казбанов В.А., Решетникова И.Н., Синельникова Г.Е., Смирнов А.П. Программа расчёта спектральной прозрачности атмосферы в области спектра 0.2–25.0 мкм. *Оптический журнал*, 2000, **67**, 5, 56–61.
3. Selby J.E.A., Mc. Clatchey R.A. Atmospheric transmittance from 0,25 to 28,5 μm . Computer code LOWTRAN 7. AFGL–TR–88–0177 Envir. Res. Pap. 1988.
4. Anderson G.P., Chetwynd J.H., Thriault J.M., Achary P.K., Berk A., Robertson D.C., Kneizys F.X., Hoke M.L., Abreu L.W., Shettle E.P., MODTRAN2: Suitability for Remote Sensing, Proc.of SPIE, 1984, Remote Sensing, 1993.

Программа расчётов спектральной и интегральной прозрачности атмосферы и радиационных характеристик энергетических потоков, проходящих сквозь атмосферу

Киселева М.С. (markiseleva@rambler.ru), Голованов С.Н., Казбанов В.А., Мирзоева Л.А., Решетникова И.Н., Синельникова Г.Е.

ВНЦ "ГОИ им. С.И. Вавилова", Биржевая 12, 199034 Санкт-Петербург, Россия

Представлены и обсуждены разработанные в ГОИ программы расчетов спектральной и интегральной прозрачности атмосферы и радиационных характеристик энергетических потоков, проходящих сквозь атмосферу от удаленных источников радиации и наблюдаемых широкополосными оптико-электронными системами. Разработанные программы направлены на решения многих задач, связанных с определением атмосферной прозрачности, радиационного баланса системы Земля-Атмосфера-Космос, задач, связанных с распознаванием и обнаружением излучающих объектов на уровне Земли и в атмосфере и других задач атмосферной физики.

Методические разработки реализованы в следующих компьютерных программах.

Программа Spak 1.1, предназначенная для расчетов спектральной прозрачности атмосферы в области спектра 0.2–25.0 мкм для произвольных положений наблюдателя и источника радиации в атмосфере и за её пределами. Спектральное разрешение и шаг по спектру отвечают $\Delta\lambda = 0.001; 0.025; 0.050$ мкм в областях спектра 0.2–0.4; 0.4–5.0; 5.0–25.0 мкм соответственно. Вычисления спектральной прозрачности атмосферы осуществляются с учетом всех основных компонент радиационного ослабления. Расчеты компоненты молекулярного поглощения проводятся с использованием разработанного авторами программ комбинированного метода, базирующего на прямых вычислениях line-by-line и на методе эффективных параметров поглощающей среды. Геометрия длин оптического пути вычисляется с учетом сферичности атмосферы и рефракционных искажений. Программа Spak 1.1 входит одной из составляющих в программы Spak 2 и Spak 3, кратко описанных ниже.

Программа Spak 2, предназначенная для вычислений интегральной (эффективной) прозрачности атмосферы с учетом спектральных характеристик источников и приемников радиации, а также интегральных (эффективных) яркостей наблюдаемых удаленных источников радиации различными оптико-электронными системами, расположенными в атмосфере и вне её. Вычисления осуществляются для произвольно заданных спектральных интервалов в диапазоне спектра 0.4–25.0 мкм. Программа Spak 2 базируется на разработанном авторами предлагаемой работы аналитическом методе, расчетах оптико-энергетических характеристик радиационных потоков с использованием понятия об эффективной спектральной ширине полосы пропускания широкополосных оптико-электронных систем. Источниками радиации служат Солнце, абсолютно черные тела, а также произвольные излучатели с известными распределениями по спектру спектральных плотностей радиационных потоков.

Программа Spak 3, предназначенная для расчетов яркостей и яркостных контрастов удаленных источников излучения, наблюдаемых сквозь атмосферу широкополосными оптико-электронными системами, а также расчетов освещенностей входных зрачков этих

систем и радиационных потоков, поступающих в них в тепловой области спектра (3–14 мкм). Предлагаемый вариант рассматриваемой программы обеспечивает соответствующие расчеты для оптико-электронных систем, функционирующих в пределах приземного слоя (0–2 км). Вычисления могут осуществляться одновременно для нескольких оптических каналов. Программа позволяет определение (в графической и табличной форме) зависимостей оптико-энергетических характеристик радиационных потоков от условий наблюдения источников радиации. Предлагаемый в программе анализ результатов расчетов обеспечивает выбор энергетически оптимальных оптических каналов для разных географических регионов, метеоусловий приземного слоя, длин оптического пути и других заданных параметров работы оптико-электронных систем.

Программы Spak 1.1, Spak 2, Spak 3 имеют развитые интерфейсы, широко иллюстрированы, комфортны в работе.

Континуальное поглощение водяного пара и его роль в радиационных блоках климатических моделей

Родимова О.Б. (rod@iao.ru), Несмелова Л.И., Творогов С.Д.

Институт оптики атмосферы СО РАН, Академический 1, 634055 Томск, Россия

Континуальное поглощение водяного пара в большой степени определяет пропускание в окнах прозрачности атмосферы. По мнению ведущих исследователей понимание природы и параметризация континуума водяного пара в лучшем случае неполны, и большие проблемы при расчете спектров возникают из-за недостаточно адекватного представления в базах данных информации о континуальном поглощении. Это приводит к существенным неопределенностям в расчетах радиационных потоков и других климатических характеристик.

Наиболее обоснованной представляется точка зрения, согласно которой поглощение водяным паром в окнах прозрачности определяется крыльями спектральных линий, так что, в конечном счете, проблема континуального поглощения упирается в проблему формы контура линий в далеких крыльях. Наиболее важны для атмосферных приложений вопросы поведения контура при пониженных температурах, а также вариации формы контура линий водяного пара в разных полосах поглощения. Отсюда следует, что использование line-by-line расчетов с ограниченным Лорентцевским контуром как эталонных расчетов атмосферной радиации надо бы предварять специальным анализом, насколько такие расчеты обеспечивают согласие с экспериментом.

В работе представлен краткий обзор экспериментальных и теоретических работ по континуальному поглощению водяного пара. Приведены результаты расчета коэффициента поглощения водяного пара при самоуширении и уширении азотом при различных температурах в спектральных интервалах 8–12 и 3–5 мкм в рамках асимптотического подхода (теория крыльев линий). Параметры потенциала межмолекулярного взаимодействия, присутствующие в выражении для контура линии в крыле, извлечены из экспериментальных данных Берча.

Отмечено, что имеющиеся в литературе экспериментальные данные разных авторов заметно расходятся между собой, и чтобы интерпретировать континуум водяного пара с уверенностью, необходимы дополнительные измерения, особенно при низких температурах. Приведены оценки влияния формы контура на пропускание излучения водяным паром в различных областях спектра.

Полуэмпирический подход к расчету параметров линий водяного пара и углекислого газа давлением буферных газов

Лаврентьева Н.Н. (lnn@asd.iao.ru), Быков А.Д., Сеница Л.Н.

Институт оптики атмосферы СО РАН, Академический 1, 634055 Томск, Россия

Параметры контура линий водяного пара и углекислого газа (коэффициенты уширения и сдвига), индуцированные давлением азота и кислорода, их точные измерения и теоретическое моделирование необходимы для целого ряда приложений атмосферной оптики, в частности, для дистанционного зондирования с использованием одномодовых лазеров или солнечного спектра высокого разрешения. При этом необходимо рассчитать как основные, обертоновые и комбинационные полосы, так и полосы, образованные переходами с возбужденных колебательных состояний – горячие полосы, определить коэффициенты уширения и сдвига линий, показатели их температурной зависимости. Объем информации, необходимой для решения задач атмосферной спектроскопии, составляет сотни тысяч линий.

Расчеты параметров уширения колебательно-вращательных линий молекулярных газов в рамках полуклассической теории Робера-Бонами, исходящей из точного моделирования межмолекулярного потенциала и учитывающей тонкие детали столкновений и внутримолекулярной динамики, требуют применения довольно сложных и долгих расчетов даже для одной линии. Данные обстоятельства приводят к необходимости упрощения процедуры расчета при сохранении его точности. Такая модификация ударного метода может быть осуществлена на основе более широкого использования эмпирических данных, чем это делается в настоящее время. Для этого следует общие формулы точной теории преобразовать к более простому виду, подобному формулам теории Андерсона, введя одновременно дополнительные параметры, учитывающие искривление траектории, эффекты колебательного возбуждения, поправки к матрице рассеяния, полученной по теории возмущений и т.д.

Для вычисления коэффициентов уширения и сдвига колебательно-вращательных линий, уширенных различными буферными газами, разработана полуэмпирическая методика, включающая различные поправки, связанные с отклонением от приближения Андерсона. Параметры модели определяются из подгонки коэффициентов уширения к экспериментальным данным, что позволяет достаточно точно предсказать параметры контура линии, измерения которых не проводились. Согласно этой методике проведены многочисленные расчеты и сделан численный анализ, позволяющий заключить о более сложном характере вращательной зависимости полуширин линий водяного пара, чем это считалось ранее, и выявить основные ее тенденции. По этой методике рассчитаны коэффициенты уширения и сдвига линий углекислого газа давлением азота и воздуха, а также коэффициенты температурной зависимости параметров контура, которые могут быть использованы в базах спектроскопических данных. Кроме того, исследовалась зависимость коэффициентов сдвига водяного пара от типа уширяющей частицы.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант N 02-07-90139-в), Министерства образования (грант N E02-3.2-91) и фонда INTAS (грант N 03-51-3394).

Распределенная информационная система по молекулярной спектроскопии

Козодоев А.В. (kav@iao.ru), Азизов Р.К., Быков А.Д., Пшеничников А.М., Фазлиев А.З.

Институт оптики атмосферы СО РАН, Академический 1, 634055 Томск, Россия

В докладе представлено описание части информационной системы по молекулярной спектроскопии, посвященной описанию спектральных свойств изолированной молекулы и коэффициенту поглощения атмосферных газов [1, 2]. ИС является частью информационного

портала "ATMOS" (<http://atmos.iao.ru>), ориентированного на представление информации и данных для атмосферных наук.

База данных, положенная в основу информационной системы, включает в себя, наряду с базами данных Hitran и Geisa, данные журнальных публикаций, оригинальные экспериментальные данные, данные по спектральным функциям, расчетные данные (высокого и низкого разрешения) по коэффициенту поглощения для атмосферных газов. В части описания изолированной молекулы предлагается расширение традиционного формата данных, используемого в базе данных Hitran и Geisa.

Описывается система ввода данных в формате, формируемым пользователем, с последующим контролем типов данных и идентификации спектральных линий.

Для изолированной молекулы возможен просмотр спектральных данных по молекулам, источникам данных, заданным диапазонам частот и списку полос. Возможно сравнение данных из всех источников ИС и данных, введенных пользователем. Для любой из молекул можно получить список атмосферных химических реакций, в которых она является реагентом или продуктом.

Отдельный раздел системы предоставляет пользователю возможность обрабатывать оцифрованные данные для коэффициентов пропускания или поглощения с предоставлением списка линий (центр линии, интенсивность, полуширина) для разных экспериментальных условий. Для поиска спектральных линий использовался метод потенциальных функций (МПФ) теории распознавания образов.

Визуализация данных осуществляется табличным и графическим способом. Используемая в ИС графика высокого разрешения позволяет пользователю проводить зуммирование изображения, определять параметры линии на диаграмме интенсивностей, отображать на графике разные комбинации спектральных полос, сравнивать однотипные данные в зеркальном изображении. Предлагается безвозмездная передача создаваемой информационной системы с целью организации распределенной сети обмена метаданными и спектроскопической информацией для групп исследователей, занимающихся вопросами молекулярной спектроскопии.

Авторы благодарны РФФИ (грант 02-07-90139) и школе С.Д. Творогова (НШ-373.2003.5) за финансирование работы.

1. Козодоев А.В., Фазлиев А.З. Организация информационного ресурса по атмосферной молекулярной спектроскопии. Труды Всероссийской научной конференции "Научный сервис в сети Интернет", 22–27 сентября 2003 г., г. Новороссийск, 179–181.
2. Родимова О.Б., Творогов С.Д., Фазлиев А.З. Онтология по молекулярной спектроскопии атмосферных газов. Труды 5 Всероссийской конференции "Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции", С-Пб., 29–31 октября 2003, 211–215.
3. Пшеничников А.М. Алгоритмическое и программное обеспечение формирования списка линий из молекулярных спектров атмосферных газов. Дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук, Томск, 2003.

Информационно-вычислительная система "Спектроскопия атмосферных газов": Версия 2003 года

Ташкун С.А., Бабилов Ю.Л., Головкин В.Ф., Михайленко С.Н. (semen@lts.iao.ru)

Институт оптики атмосферы СО РАН, Академический 1, 634055 Томск, Россия

Информационно-вычислительная система SPECTRA (Спектроскопия атмосферных газов) предоставляет доступ через Интернет к информации о параметрах спектральных линий (ПСЛ), сечениях поглощения атмосферных газов и позволяет решать некоторые задачи молекулярной спектроскопии. К числу решаемых системой задач относятся задачи выборки и визуализации данных по ПСЛ, моделирования лабораторных спектров высокого (построение частотных профилей диаграмм интенсивностей, коэффициентов поглощения, функций пропускания и поглощения при различных параметрах: давлении, температуре, длине поглощающей кюветы) и низкого разрешения. В настоящей версии системы реализовано решение прямой спектроскопической задачи для молекул воды и озона на

основе использования метода эффективных операторов (гамильтонианов и моментов переходов).

В базу ПСЛ включены банки данных HITRAN-2000 (включая данные 2001 г.), HITEMP и GEISA-97. В настоящей версии системы база ПСЛ содержит также оригинальные данные, не представленные в других банках спектроскопической информации, для молекул воды, углекислого газа и сероводорода. Указанные данные получены в Институте оптики атмосферы СО РАН в кооперации с ведущими специалистами из США и Франции.

Все результаты могут быть получены на сайте <http://spectra.iao.ru> в графическом или табличном виде, они могут быть также загружены на компьютер пользователя или отправлены пользователю по электронной почте в виде текстовых файлов для дальнейшей обработки.

Предполагается дальнейшее развитие системы – в плане наполнения базы ПСЛ оригинальными расчетными данными для молекул N_2O , C_2H_2 , SO_2 , CH_3D и CH_3Cl . В плане расширения круга решаемых системой задач и предоставляемых сервисов – реализация прямой спектроскопической задачи для молекул H_2S и SO_2 , создание библиографической службы.

Влияние плотности газа на оптические характеристики фреонов CF_3Cl , CF_3Br , C_2F_6 в области основных полос ИК поглощения

Бочаров В.Н. (bocharov@molsp.phys.spbu.ru), Бурцев А.П., Кисляков И.М.

Научно-исследовательский институт физики им. В.А. Фока СПбГУ, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

В области основных полос поглощения фреонов C_2F_6 , CF_3I , CF_3Br , CF_3Cl (8–10 мкм) изучены спектральные характеристики в диапазоне давлений газа до 30 атм. Для регистрации спектров использовался ИК спектрофотометр Bruker IFS28 с разрешением 1 см^{-1} и оптические ячейки высокого давления с минимальной величиной слоя до 10 мкм. Толщины слоев контролировались интерферометрически, а также с использованием реперных газов (SF_6 , CF_3H).

Обнаружено существенное влияние плотности газа на сечение поглощения как в центре полос, так и в области их крыльев. Влияние плотности на рефракцию (показатель преломления) среды изучалось путем обработки абсорбционных данных с использованием соотношений Крамерса-Кронига. Это позволило выявить нелинейную по плотности газа зависимость показателя преломления среды вблизи фундаментальных полос поглощения. Наиболее значим этот эффект оказался для гексафторэтана вблизи полосы ν_{10} (1250 см^{-1}).

Работа была выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 02-02-16600.

Абсолютные интенсивности фундаментальных ИК-полос поглощения парниковых газов

Бурцев А.П. (burcev@molsp.phys.spbu.ru), Бочаров В.Н.

Научно-исследовательский институт физики им. В.А. Фока СПбГУ, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Предложена новая однокомпонентная методика определения интегральных интенсивностей особо сильных полос поглощения молекулярных газов. Необходимое для устранения тонкой структуры спектра поглощения уширения линий изучаемого газа достигается за счет самоуширения.

Измерения проводились с чистыми (> 99%) сжатыми (до 7 атм) газами CF_4 , C_2F_6 , CF_3H , OCS , CHF_2Cl , SiF_4 , N_2O в слоях 93–11.5 мкм на приборе Bruker IFS28 с разрешением 1 см^{-1} . В качестве реперного газа, используемого для контроля толщины слоя, применялся особо

чистый SF_6 , спектральные характеристики которого хорошо изучены в ИК области. Суммарная погрешность полученных значений составляет 4%. Обнаружено заметное, до 25%, отклонение от литературных данных, что может быть связано с неконтролируемым изменением состава образца за счет химических и адсорбционных процессов на поверхности измерительной ячейки при использовании традиционного двухкомпонентного режима измерения интегральных интенсивностей.

Фрактальный анализ оптических спектров колебательно-вращательных полос поглощения атмосферных газов

Герасимов Д.А. (dager@ido.tsu.ru)

Томский государственный университет, пр. Ленина 49, 634034 Томск, Россия

Кистенев Ю.В. (yuk@asd.iao.ru)

Сибирский государственный медицинский университет, пр. Академический 1, 534055 Томск, Россия

Оптический спектр поглощения основных атмосферных газов часто имеет достаточно сложный вид, напоминающий некоторый квазислучайный процесс, который целесообразно описывать некоторыми совокупными характеристиками, в частности, в терминах фрактального анализа.

В докладе представлены результаты фрактального анализа оптических спектров колебательно-вращательных полос поглощения атмосферных газов. Рассматривались следующие характеристики: параметр лакуарности различных порядков и спектр сингулярностей (спектр размерностей Реньи). Лакуарность характеризует степень отклонения значений функции от среднего, причем равенство лакуарности 1 означает, что функция трансляционно-инвариантна [1].

Практически расчет лакуарности связан с усреднением исходной функции по некоторому интервалу определенного размера. При этом набор возможных значений функции может быть получен при произвольных изменениях положений интервала усреднения внутри области определения функции. В этом случае лакуарность будет зависеть от величины интервала [2]. В качестве плотности меры множества использовалась усредненная по интервалу интенсивность линий поглощения

Проанализированы особенности лакуарности спектра молекул H_2O , CO_2 и O_3 . Такой выбор обусловлен важной ролью, которую играют эти газы в динамике атмосферных процессов. Были рассмотрены различные изотопы и их полосы данных газов. Результаты расчета лакуарности показали, что зависимость лакуарности в двойном логарифмическом масштабе является практически линейной.

Результаты расчетов параметра лакуарности для колебательно-вращательных полос поглощения различных молекул показывают, что данный параметр чувствителен к вариациям молекулярного и изотопического состава поглощающих компонент атмосферы.

Результаты расчетов показывают, что для некоторых колебательно-вращательных полос поглощения газовых компонент атмосферы зависимость лакуарности от величины интервала практически линейна (в двойном логарифмическом масштабе). Это является косвенным подтверждением наличия у данных спектров свойств масштабной инвариантности.

1. Кистенев Ю.В., Пономарев Ю.Н., Фирсов К.М., Герасимов Д.А. The temperature dependence of cumulative spectra of the atmospheric gases in lacunarity term. XIV Int. Symp. on High Resolution molecular spectroscopy. Томск: 2003, 1-1.
2. Кистенев Ю.В., Фирсов К.М., Пономарев Ю.Н., Герасимов Д.А. Связь погрешности расчета пропускания неоднородной атмосферы методом k -распределения с лакуарностью спектра. *Оптика атмосферы и океана*, 2003, **16**, 3, 272-275.

Лабораторные измерения континуального поглощения водяного пара в области 5000–5600 см⁻¹: проверка димерной гипотезы

Пташник И.В. (piv@iao.ru)

Институт оптики атмосферы СО РАН, Академический 1, 634055 Томск, Россия

Смит К.М.

Отдел космических и технологических исследований, Резерфордская Апттоновская лаборатория, Англия

Шайн К.П.

Факультет метеорологии, Редингский университет, Англия

Ньюнхам Д.А

Фирма "ТераВью", Англия

Несмотря на десятилетия интенсивных исследований, роль димеров воды (ДВ) в атмосферном радиационном бюджете по-прежнему остается дискуссионным вопросом. С целью обнаружения поглощения ДВ в ближнем ИК диапазоне в лабораторных условиях были получены и обработаны спектры поглощения водяного пара в области 5000–5600 см⁻¹ (1.785–2 мкм) для двух значений температур и давлений. Остаточное поглощение (ОП) определялось как разница между измеренной оптической толщиной и рассчитанной для мономеров воды на основе базы спектральных данных HITRAN и двух моделей континуального поглощения воды: CKD-2.4 (Clough-Kneizys-Davies) [1] и континуум Ma&Tipping [2]. В обоих этих случаях спектральная зависимость остаточного поглощения оказалась очень похожей на теоретическое предсказание для ДВ [3]. Различаются только значения двух "димерных параметров" – полуширины полосы поглощения димеров и постоянной димеризации – полученных подгонкой к зарегистрированному ОП. Анализ этих двух наборов параметров показал, что параметры, полученные подгонкой к ОП = Эксперимент – HITRAN_Ma&Tipping, больше соответствуют имеющимся в литературе теоретическим предсказаниям, чем параметры, полученные подгонкой к ОП = Эксперимент – HITRAN_CKD-2.4. Это, в свою очередь, может свидетельствовать о том, что существенная часть поглощения димерами воды, уже неявно включена в модель континуума CKD, в виду ее полуэмпирического характера.

Численная оценка усредненного по глобусу дополнительного поглощения солнечной радиации, обусловленного димерами воды, дает величину 0.5%–2.0% (в зависимости от набора "димерных параметров") от общего поглощения в атмосфере.

1. Mlawer, E.J., Clough, S.A., Brown, P.D. and Tobin, D.C. Recent developments in the water vapor continuum, Ninth ARM Science Team Meeting Proceedings, March 22-26, 1999, San Antonio, TX, 1-6.
2. Ma, Q. and Tipping, R. H. The frequency detuning correction and the asymmetry of line shapes: The far wing of H₂O-H₂O. J. Chem. Phys., 2002, **116**, 4102-4115.
3. Schofield D.P. and Kjaergaard H.G. Calculated OH-stretching and HOH-bending vibrational transitions in the water dimer. Phys. Chem. Chem. Phys., 2003, 5, 3100-3105.

СЕКЦИЯ 5. СПУТНИКОВОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ И ПОВЕРХНОСТИ

Председатель: д.ф.-м.н. **А.Б. Успенский** (НИЦ "Планета")

Сопредседатели: д.ф.-м.н. **Ю.А. Борисов** (ЦАО, Долгопрудный),
к.ф.-м.н. **Л.П. Бобылев** (Нансен-центр, Санкт-Петербург)

Определение оптической толщи аэрозоля из космоса

Кохановский А.А. (alexk@iup.physik.uni-bremen.de)

Институт физики им. Б.И. Степанова НАНБ, пр. Скарины 70, 220072 Минск, Беларусь

Институт дистанционного зондирования, Бременский университет, Бремен, Германия

фон Хойнинген-Хойне В., Бороуз Д.П.

Институт дистанционного зондирования, Бременский университет, Бремен, Германия

Космический мониторинг тропосферного аэрозоля, включая размер частиц, их концентрацию, химический состав и спектральную оптическую толщину, представляется одним из важнейших направлений современной атмосферной оптики и климатологии. Основной метод решения этой задачи заключается в сравнении измеренных спектральных коэффициентов яркости на верхней границе атмосферы с модельными спектрами, полученными в рамках теории переноса излучения для безоблачной атмосферы. При этом оптический сигнал, измеренный оптическим инструментом космического базирования, моделируется как сумма трех составляющих, а именно:

молекулярное рассеяние света в атмосфере;

вклад подстилающей поверхности;

аэрозольное рассеяние света в атмосфере.

Компонента молекулярного рассеяния хорошо известна и может быть легко вычтена из общего сигнала. При этом необходимо учесть высоту подстилающей поверхности над уровнем моря. Понятно, что молекулярная оптическая толщина над горными массивами значительно ниже, чем над океаном.

Выделение аэрозольной компоненты из общего вклада "подстилающая поверхность+аэрозоль" не столь очевидно. В связи с этим спектральная аэрозольная оптическая толщина в основном находится из измерений над водными акваториями (океаны, моря, озера) в ближней инфракрасной области спектра, где альbedo воды близко к нулю и вклад поверхности отсутствует. Аэрозольная оптическая толщина получается путем минимизации разности измеренных (за вычетом компоненты молекулярного рассеяния) и рассчитанных спектральных коэффициентов яркости.

Расчеты проводятся при определенных предположениях о распределении частиц по размерам и их комплексном показателе преломления. Обычно осуществляется перебор 10–20 аэрозольных моделей с целью выявления модели, дающей наиболее близкое соответствие с измеренными значениями спектрального коэффициента яркости. Алгоритмы восстановления оптической толщи над сушей базируются на известной корреляции альbedo поверхности в инфракрасном диапазоне с соответствующими значениями в видимом диапазоне спектра. Влиянием аэрозоля на измерения обычно пренебрегается или приближенно учитывается с использованием климатологических моделей.

Данная работа посвящена обсуждению альтернативного алгоритма восстановления оптической толщи аэрозоля над сушей, основанного на оценке спектрального альbedo поверхности с использованием нормированного дифференциального вегетационного индекса V . Индекс V возрастает при увеличении степени покрытия поверхности растительностью. Приведены результаты восстановления оптической толщи по данным космических измерений над сушей и океаном. Оценена точность восстановления оптической толщи аэрозоля с использованием наземных спектрофотометрических измерений.

Методика извлечения информации об аэрозольном состоянии атмосферы из спутниковых измерений рассеянного солнечного излучения горизонта Земли

Тимофеев Ю.М. (tim@troll.phys.spbu.ru), Васильев А.В., Поляков А.В., Виролайнен Я.А.
НИИ физики Санкт-Петербургского государственного университета, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Ньючерч М.

Калифорнийский государственный университет, Нортридж, США

Стил Х.

Алабанский университет в Хантсвилле, Национальный центр космический и технологический центр, США

В настоящее время проведены и планируются новые спутниковые эксперименты по измерениям рассеянного солнечного излучения лимба Земли (LORA, SCIAMACHY, ODIN и т.д.). Эти измерения предназначены для извлечения информации о газовом и аэрозольном составе атмосферы. Решение обратных задач относительно аэрозольных параметров атмосферы связано со значительными трудностями, обусловленными наличием большого числа неизвестных параметров – вертикальных профилей ослабления и рассеяния, индикатрисы рассеяния, альbedo поверхности и облаков.

Для однозначного решения обратной задачи относительно аэрозольных характеристик предлагается метод, основанный на статистических связях между различными оптическими характеристиками аэрозоля.

Рассмотрены различные пути построения статистических связей между оптическими характеристиками аэрозоля. Приведены примеры построения статистических моделей стратосферного и тропосферного аэрозоля, полярных стратосферных облаков.

На основе создания радиационного кода для расчетов уходящего рассеянного солнечного излучения горизонта планеты анализируются вариации излучения, обусловленные различными атмосферными характеристиками. Показана эффективность использования статистических моделей аэрозолей и облаков при решении обратных задач атмосферной оптики.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (коды проектов 02-05-64711, 03-05-64626) и гранта УР.01.01.044. (Университеты России)

Восстановление малых газовых и аэрозольной составляющих атмосферы по данным спутниковых измерений солнечного излучения на касательных трассах прибором SAGE III

Поляков А.В. (alexandr@AP13786.spb.edu), Тимофеев Ю.М., Косцов В.С., Виролайнен Я.А.,
Ионов Д.В., Чайка А.М.

НИИ физики Санкт-Петербургского государственного университета, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Стил Х.М.

Алабанский университет в Хантсвилле, Национальный центр космический и технологический центр, США

Ньючерч М.Д.

Калифорнийский государственный университет, Нортридж, США

В докладе представлен алгоритм одновременного восстановления вертикальных профилей озона, NO₂, спектрального коэффициента аэрозольного ослабления и различных микрофизических свойств стратосферного аэрозоля из спутниковых измерений прозрачности атмосферы на касательных трассах (российско-американский эксперимент с аппаратурой SAGE III). В алгоритме, основанном на методе статистической регуляризации,

смоделированные статистические модели аэрозоля используются в качестве априорной информации.

Приведены примеры построения статистических микрофизических и оптических моделей аэрозолей и полярных стратосферных облаков, используемых в алгоритме интерпретации данных SAGE III. Численные эксперименты, моделирующие измерения SAGE III, позволили оценить потенциальные погрешности предлагаемого алгоритма.

Данные измерений SAGE III (Meteor-3M) были использованы для восстановления различных атмосферных параметров с помощью разработанного алгоритма. Полученные результаты сравнены с данными независимых измерений (озонзонды, лидары, спутниковые измерения).

Восстановленные средние профили озона в мезосфере хорошо согласуются с современными моделями и независимыми данными CRISTA-1 и HALOE. В верхней и средней стратосфере средние различия и СКО между спутниковыми, озонзондовыми и лидарными измерениями малы и составляют 10–40%. В нижней стратосфере различия увеличиваются и могут превышать 40%. На высотах 20–50 км средние и СКО отклонения между восстановленными величинами и данными HALOE не превышают 10–20% и 20–25% соответственно. Ниже 20 км отклонения увеличиваются и достигают 30 и 45% в слое 15–20 км.

Содержания NO_2 , восстановленные по данным SAGE III, и данные HALOE различаются в среднем на 10–20% с СКО равным 30–40% в слое 20–40 км и увеличивающимся в нижней и верхней стратосфере.

Проведен статистический анализ результатов восстановления профилей аэрозольного ослабления на различных длинах волн с помощью разработанного алгоритма, использующего данные о функциях пропускания, и оперативным алгоритмом, используемым NASA и основанном на интерпретации данных об оптических толщинах атмосферы. Выявлены систематические расхождения между результатами восстановлений в нижней стратосфере и верхней тропосфере, причины которых проанализированы.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (коды проекта 03-05-64626) и гранта УР.01.01.044. (Университеты России)

Retrieval of SCIAMACHY limb measurements

Rozanov A. (Alexej.Rozanov@iup.physik.uni-bremen.de), Rozanov V., Bracher A.,

Von Savigny C., Sinnhuber M., Burrows J.P.

Institute of Environmental Physics/Institute of Remote Sensing, University of Bremen, P.O. Box 330440, D-28334, Bremen, Germany

The Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Chartography (SCIAMACHY) which was launched on board the European Environment Satellite (ENVISAT-1) in March 2002 is one of the newest space-borne instruments intended to improve our knowledge of the atmospheric physics and chemistry. The SCIAMACHY instrument measures the scattered and reflected spectral radiance in nadir and limb geometry and the spectral radiance transmitted through the atmosphere in solar/lunar occultation geometry in the spectral region 240–2380 nm.

Retrieval of SCIAMACHY measurements in limb viewing geometry yields vertical distributions of various atmospheric trace gases in the stratosphere, upper troposphere and lower mesosphere with a vertical resolution of about 3 km. Selected retrieval results presented in this work demonstrate a large information content of limb-viewing measurements and a high potential of the retrieval of atmospheric trace gas vertical distributions from spectra measured by the SCIAMACHY instrument. Retrieval results for ozone, NO_2 , BrO, and OClO in the altitude range 15–40 km are presented. Retrieved vertical profiles are compared to profiles derived from independent measurements.

Пространственные распределения и суточные вариации содержания озона в мезосфере по данным спутникового эксперимента CRISTA 1

Косцов В.С. (vlad@troll.phys.spbu.ru), Тимофеев Ю.М.

НИИ физики Санкт-Петербургского гос. университета, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

В результате интерпретации спектров уходящего излучения горизонта в области 10 мкм методом, учитывающим эффект нарушения локального термодинамического равновесия, получены вертикальные профили содержания озона в верхней стратосфере и мезосфере в квазиглобальном масштабе (космический эксперимент CRISTA 1, ноябрь 1994 г.).

Представлены и проанализированы результаты, соответствующие наблюдениям в дневное и ночное время, а также во время сумерек. В верхней стратосфере (40–55 км) для исследуемого периода времени и исследуемых широт значения содержания озона очень близки для дневных и ночных условий. Выше 55 км ночные значения содержания озона существенно превышают дневные. На высоте 90 км среднее значение отношения смеси озона составляет 2 ppmv днем и 9.8 ppmv ночью. Относительные вариации отношения смеси озона малы на высотах 40–70 км и составляют 15–20%. Выше 70 км ночью и 75 км днем относительные вариации в содержании озона начинают резко расти, достигая максимальных значений в 100–120% вблизи высоты 80 км. Сравнение величин отношения средних дневных значений содержания озона к средним ночным с данными эксперимента MLS и результатами моделирования на высотах 55–70 км демонстрирует хорошее согласие.

Проведено сравнение средних профилей содержания озона (день, ночь) с рядом модельных профилей. Ночью на высотах 85–90 км и днем выше 70 км полученные результаты обработки данных эксперимента CRISTA 1 превышают модельные значения. Широтные вариации наиболее заметно проявляются на высотах более 70 км. Для дневных условий наблюдается увеличение содержания озона в экваториальной области – плавное на высотах 50–60 км и резкое – в окрестности 80 км. Для ночных измерений на высотах более 80 км содержание озона растет от южных широт к северным, имея заметный локальный максимум в экваториальной области (на высоте 80 км в области 0–20° с.ш.).

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (код проекта 03-05-64830) и гранта УР.01.01.044. (Университеты России)

Определение динамических характеристик атмосферы по данным геостационарных спутников на основе использования корреляционно-экстремальных алгоритмов

Нерушев А.Ф. (nerushev@obninsk.org), Крамчанинова Е.К.

Институт экспериментальной метеорологии, Ленина 82, 249038 Обнинск, Россия

Динамические характеристики атмосферы (вектор скорости ветра, коэффициент турбулентной диффузии) являются ключевыми метеорологическими параметрами, используемыми для прогноза погоды, расчета миграции атмосферных примесей и решения многих других фундаментальных и прикладных задач метеорологии. Спутниковые методы определения поля ветра, широко применяемые в США, Европе (Франция, Германия) и Японии, основаны главным образом на использовании интерактивного метода слежения за единичными объектами (трассерами), в качестве которых могут выступать или облака, или пространственные неоднородности поля водяного пара.

Нами разработан метод определения динамических характеристик атмосферы по спутниковым снимкам, основанный на использовании в качестве трассеров неоднородностей поля концентрации консервативной примеси и применении корреляционно-экстремальных алгоритмов. В отличие от широко применяемых на практике интерактивных методов, он позволяет определять не только вектор горизонтальной скорости ветра, но и завихренность

(ротор скорости) и коэффициент турбулентной диффузии. Программные средства, реализующие этот метод, позволяют полностью автоматизировать определение указанных динамических характеристик атмосферы.

Метод был применен для определения динамических характеристик средней тропосферы по информации о собственном излучении атмосферы, принимаемом в канале водяного пара радиометра MVIRI спутника METEOSAT-7 (5.7–7.1 мкм). Результаты расчетов поля скорости горизонтального ветра по изображениям полного диска, получаемым со спутника, сравнивались с данными объективного анализа поля ветра на стандартных атмосферных уровнях в узлах регулярной сетки с ячейками 2.5 град. на 2.5 град. Показано, что разработанный метод обеспечивает точность определения модуля вектора скорости горизонтального ветра и его направления сравнимую с точностью интерактивных методов. Рассчитаны значения коэффициента турбулентной диффузии в средней тропосфере. Проанализировано их пространственное распределение и временная изменчивость.

Заметным преимуществом разработанного метода являются возможность полной автоматизации и существенно больший набор определяемых с его помощью характеристик атмосферы. Обсуждаются преимущества использования данных радиометра SEVIRI спутника MSG по сравнению с данными MVIRI спутника METEOSAT. Рассмотрена возможность применения разработанного метода для восстановления поля ветра по данным принимаемого радиометром SEVIRI излучения в полосе поглощения озона (9.38–9.94 мкм).

Методика оценки параметров облачности по данным ИСЗ "Метеосат" и результатам численного моделирования

Степаненко В.Д., Синькевич А.А. (sinkev@main.mgo.rssi.ru), Довгальук Ю.А., Веремей Н.Е., Емельянова В.Н.

Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

Использование спутниковой информации для решения оперативных задач гидрометслужбы – один из важнейших путей совершенствования качества прогноза и анализа метеоявлений. В этой связи представляет безусловный интерес разработка и совершенствование методов получения информации с геостационарных спутников "Метеосат" [1], которые осуществляют обзор территории России.

На "Метеосате" установлен радиометр, который измеряет электромагнитное излучение в оптическом и ИК-диапазонах спектра. Первый канал используется для получения изображений Земли в дневное время, второй – для определения содержания водяного пара в средней тропосфере, последний – для получения информации о температуре подстилающей поверхности и облаков. Каждый снимок генерируется с периодичностью 30 минут. Затем он передается на станцию первичной обработки в Италию и далее в Германию для архивации и дальнейшего распространения. Геостационарные спутники располагаются на высоте около 36000 км над экватором. Действующий спутник обычно располагается вблизи нулевой долготы. Спутник осуществляет обзор земной поверхности, который включает Европу, Средний Восток, Африку, большую часть Северной и Южной Атлантики, а также частично Южную Америку.

Основной задачей исследования являлось сопоставление результатов спутникового зондирования с данными численного моделирования облаков. Это сравнение необходимо для разработки методики получения более полных характеристик конвективных облаков по данным спутникового зондирования. Известно, что на основе данных зондирования со спутника "Метеосат" получается информация об осредненной температуре на верхней границе облаков (ИК-канал). Привлечение достаточно полной численной модели облака [2] может обеспечить получение информации и о других характеристиках облака, таких как интенсивность осадков, наличие грозовой деятельности, влажность облака, скорость вертикальных потоков в нем и др. В качестве входных параметров в модель должны входить

данные радиозондирования и измеренная с помощью спутника температура на верхней границе облака. На первом этапе необходимо было сопоставление результатов расчетов по модели с данными спутника и наземных наблюдений. Здесь удобно использовать результаты радиолокационных наблюдений. Нами были проанализированы данные зондирования за июнь 2002 г. Был выбран один день, когда наблюдалось развитие отдельно стоящих конвективных облаков наряду с облачными кластерами, кроме того присутствовали слоистообразные облака. Для этого дня проведен анализ результатов зондирования.

Для сопоставления данных расчетов по модели с фактическими данными спутниковых измерений нами выполнены расчеты характеристик облака с использованием входных данных ночного радиозонда за 23 июня с соответствующими приземными температурами за день 24 июня и дневного радиозонда за 24 июня. Известно, что более полно характеристики облаков отражает расчет с использованием ночного зонда.

Ниже приводятся данные, получаемые в результате счета по разработанной программе.

- Наибольшее значение высоты верхней границы облака – 5800 м.
 - Наибольшее значение вертикальной мощности облака – 4800 м.
 - Наибольшее значение скорости восходящего потока 2.6 км и составляет 10.1 м/с.
 - Наибольшее значение водности облачных капель достигается на высоте 2.6 км и составляет 1.73 г/м^3 .
 - Наибольшее значение водности дождевых капель достигается на высоте 3.6 км и составляет 2.33 г/м^3 .
 - Наибольшее значение суммарной водности достигается на высоте 3.4 км и составляет 2.99 г/м^3 .
 - Наибольшее значение суммарной ледности достигается на высоте 2.4 км и составляет 1.85 г/м^3 .
 - Наибольшее значение влагозапаса составляет 39.3 кг/м^2 .
 - Наибольшее значение интенсивности дождя у подстилающей поверхности составляет 17 мм/ч.
 - Наибольшее значение интенсивности града у подстилающей поверхности составляет 1 мм/ч.
1. Desbois M., Seze, C. Sziewach. Automatic classification of clouds on Meteosat imagery: Application to high-level clouds. *J. Appl. Meteor.*, 1982, **21**, 401–412.
 2. Баранов В.Г., Веремей Н.Е., Власенко С.С., Довгалюк Ю.А. Численная нестационарная модель конвективного облака, содержащего твердые аэрозольные частицы. *Вестник СПбГУ*, 1997, сер. 4, вып. 3., 18, 23–30.

Статистический анализ оптико-метеорологических параметров атмосферы Томского региона на основе спутниковых данных MODIS

Афонин С.В. (afonin@iao.ru), Белов В.В., Энгель М.В.

Институт оптики атмосферы СО РАН, Академический 1, 634055 Томск, Россия

Быстрое развитие компьютерной техники и сетевых ресурсов обусловили возможность использования современных информационных технологий для проведения научных исследований с использованием спутниковых данных. Во-первых, эти исследования позволяют изучать пространственную и временную динамику параметров окружающей среды в регионе. Во-вторых, статистический анализ этих данных позволяет исследовать искажающие оптические свойства атмосферы с целью развития методов атмосферной коррекции результатов мониторинга подстилающей поверхности из космоса. В Институте оптики атмосферы (ИОА) СО РАН с 2000 года также ведутся работы по изучению метеорологических и аэрозольных характеристик атмосферы в Томском регионе (56–61°с.ш. и 75–90°в.д.) с использованием спутниковых данных MODIS и NOAA (см. напр. [1–3]).

В качестве информационной основы исследований в работе была использована создаваемая в ИОА СО РАН региональная коллекция данных MODIS Atmosphere Products, получаемых через INTERNET по ftp-протоколу из архивов подразделения NASA Goddard Distributed Active Archive Center (DAAC).

Применение спутниковых данных в научных исследованиях делает важным вопрос о точности данных. Несмотря на уже имеющиеся в литературе результаты валидации данных MODIS Atmosphere Products, мы сочли необходимым выполнить её для условий Томска. В качестве тестовых данных использовались результаты наземных фотометрических измерений спектральной аэрозольной оптической толщины (AOT) и общего влагосодержания атмосферы (WV), регулярно осуществляемых в ИОА СО РАН [4]. В работе представлены результаты их валидации, которые в целом хорошо совпадают с приведенными в литературе данными (напр. [5,6]).

Главная цель этой работы – комплексный статистический анализ AOT и общего влагосодержания атмосферы для Томского региона на основе спутниковых данных MODIS Atmosphere Products за весенне-осенний сезоны 2000–2002 гг. с целью получения следующих статистических данных для AOT и WV: 1) средние значения и СКО; 2) частотные распределения; 3) межсуточная изменчивость; 4) пространственное распределение в регионе.

1. Афонин С.В., В.В. Белов, Б.Д. Белан., М.В. Панченко, С.М. Сакерин, Д.М. Кабанов. Сравнение спутниковых (AVHRR/NOAA) и наземных измерений характеристик атмосферного аэрозоля. *Оптика атмосферы и океана*, 2002, **15**, 2, 1118-1123.
2. Afonin S.V., Belov V.V. Statistical analysis of regional satellite data on the optical state of the atmosphere. X Joint International Symposium "Atmospheric and ocean optics. Atmospheric physics": Symposium Abstracts, 2003, p.95.
3. Афонин С.В., Белов В.В., Энгель М.В., Лупян Е.А., Мазуров А.А. Использование спутниковых данных MODIS/TERRA для изучения оптических свойств атмосферного аэрозоля. X Рабочая группа "Аэрозоли Сибири": тезисы докладов. Томск: Издательство Института оптики атмосферы СО РАН, 2003, 68.
4. Кабанов Д.М., Сакерин С.М., Турчинович С.А. Солнечный фотометр для научного мониторинга (аппаратура, методики, алгоритмы). *Оптика атмосферы и океана*, 2001, **14**, 12, 1132-1169.
5. Yoram J. Kaufman & Didier Tanre. Algorithm for Remote Sensing of Tropospheric Aerosol from MODIS. ATBD Reference Number: ATBD-MOD04, 1998, 85p.
6. King, M.D., W.P. Menzel, Y.J. Kaufman, et al. Cloud and aerosol properties, precipitable water, and profiles of temperature and humidity from MODIS. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 2003, **41**, 442-458 (doi: 10.1109/TGRS.2002.808226).

Исследование экосистем Северной Евразии по данным спутниковых наблюдений и моделирования геофизических процессов

Козодеров В.В. (vkozod@inm.ras.ru)

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физ. фак., Воробьевы Горы, 119992 Москва, Россия

Планируемые в рамках международного сотрудничества исследования экосистем Северной Евразии предполагают совместное использование данных спутниковых и наземных наблюдений вместе с проведением модельных расчетов для изучения процессов функционирования бореальных лесов, районов интенсивного сельскохозяйственного производства и других регионов выбранной территории России и соседних с ней стран. Соответствующие модели включают: модели планирования эксперимента; модели интерпретации данных дистанционного зондирования и наземных наблюдений, а также численные модели описания природных процессов; модели обработки многоспектральных спутниковых изображений; тестовые модели использования различных типов измерительных данных для настройки численных моделей; модели анализа временных рядов информационной продукции спутниковых и наземных наблюдений; модели комплексной оценки состояния экосистем на основе развития приложений всех перечисленных типов моделирования. Несмотря на то, что в настоящее время в приложениях превалирует использование данных численного моделирования, новые информационно-динамические модели, основанные на измерительных спутниковых и наземных данных, получают все

более широкое применение. Эти новые модели позволяют подойти к проблеме предсказуемости глобальных и региональных изменений как к научной проблеме нахождения кросс-корреляций аномалий природных процессов в различных частях выбранной модельной области.

Модели планирования эксперимента дают возможность обоснования характерных информационных особенностей исследуемых классов природных образований, формулирования требований к аппаратуре дистанционного зондирования (спектральные каналы, точности измерений, конструкция измерительных систем, время измерений и т.п.), оптимизации измерительных средств на наземной сети станций, а также при проведении подспутниковых экспериментов (метеорологические, гидрологические, радиационные и другие измерения).

Строятся модели описания природных процессов в атмосфере, гидросфере и на поверхности суши. Среди численных моделей наиболее известны модели общей циркуляции атмосферы и океана, модели переноса излучения в системе "почва-растительность-атмосфера", динамические модели роста растительности, гидрологические, климатические и другие модели. Модели распознавания образов и анализа сцен являются исходными для обработки данных дистанционного зондирования с проведением атмосферной коррекции этих данных, а модели объективного анализа полей служат для перехода от точечных наземных измерений к пространственным распределениям соответствующих полей в терминах изолиний. При этом численные модели способствуют решению получаемых уравнений с параметризацией физических процессов, фильтрацией подмасштабных волн при использовании выбранных сеток проведения расчетов и др. Примерами других приложений данных спутникового зондирования являются исследования облачности и радиационного баланса Земли, восстановление температуры земной поверхности и оценки содержания хлорофилла в водоемах, получение количественных оценок параметров, характеризующих состояние объектов Мирового океана и поверхности суши по многоспектральным спутниковым изображениям.

Анализ временных рядов спутниковых и наземных наблюдений включает в себя изучение внутрисезонной и межгодовой изменчивости получаемой информационной продукции обработки измерительных данных, в то время как модели интегрирования по времени используемых уравнений для выбранных сеточных областей дают представление о роли внешних воздействий и внутренних флуктуаций на поведение исследуемых систем с точки зрения их реакции на эти воздействия и флуктуации. Модели комплексной оценки состояния экосистем способствуют подключению в рассмотрение социально-экономических факторов устойчивого развития, характеристик демографии конкретных географических регионов и других особенностей "человеческого измерения" в проблемах окружающей среды и развития. Процесс принятия решений также вовлекается в эти последние модели, называемые также моделями управления, при развитии приложений географических информационных систем (ГИС) на основе данных мониторинга и моделирования.

Исследования поддерживаются Российским Фондом Фундаментальных Исследований (проекты № 04-05-64117 и 03-01-00132).

Неустойчивость мезомасштабных волн вблизи мезопаузы и их влияние на перенос атмосферного озона

Гаврилов Н.М. (gavrilov@pobox.spbu.ru)

НИИ физики Санкт-Петербургского государственного университета, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Наблюдения на спутниках, принимающих сигналы глобальной позиционной системы (ГПС), показывают усиление мезомасштабных вариаций показателя преломления атмосферы вблизи тропопаузы. Причинами этих вариаций могут быть волновые и турбулентные

процессы. Численная модель спектра внутренних гравитационных волн (ВГВ), распространяющихся от случайных тропосферных волновых источников, использована для расчетов амплитуд ВГВ и коэффициентов турбулентной диффузии, создаваемых этими волнами. Численное моделирование показывает, что резкое увеличение вертикального градиента температуры вблизи тропопаузы может вызвать увеличение амплитуд ВГВ, распространяющихся вверх из тропосферы, разрушение волн и генерацию повышенной турбулентности. Это может сделать тропопаузу более прозрачной для переноса примесей между тропосферой и стратосферой. Рассчитанные и наблюдаемые коэффициенты турбулентной диффузии $1\text{--}10\text{ м}^2/\text{с}$ могут обеспечить вертикальные потоки озона из стратосферы в тропосферу, которые по порядку величины могут быть сравнимы с переносом озона атмосферной циркуляцией. Это подтверждается анализом результатов одновременных измерений атмосферной турбулентности МСТ радаром и вертикальных профилей озона с помощью озонозондов в Шигараки, Япония. Во время эксперимента максимальная турбулентная диффузия наблюдалась в области турбопаузы на высотах 12–14 км. Это вызвало увеличение турбулентных потоков озона из стратосферы в тропосферу до величин сравнимых и превосходящих циркуляционные потоки озона. Поэтому, локальные усиления интенсивности ВГВ и турбулентности на высотах тропопаузы, например над горными районами, могут приводить к изменениям содержания тропосферного и полного озона над различными регионами. В связи с этим становится актуальной задача определения параметров турбулентности и диффузионных потоков газовых примесей вблизи тропопаузы по спутниковым данным.

Совместное исследование полей температуры и параметров качества воды Ладожского озера по многолетним спутниковым данным в видимом и инфракрасном диапазонах спектра

Коросов А.А. (anton.korosov@niersc.spb.ru), Поздняков Д.В.

Научный фонд "Нансен-Центр", ул. Б. Монетная 26/28, 197101 Санкт-Петербург, Россия

Филатов Н.Н.

Институт водных проблем Севера КНЦ РАН, пр. А. Невского 50, 185030 Петрозаводск, Россия

Мазуров А.А.

Институт космических исследований РАН, Профсоюзная ул.84/32, 117810 Москва, Россия

Разработан операционный алгоритм восстановления параметров качества вод, в основе которого заложено каскадное использование нейронных цепей и техники многомерной оптимизации. Алгоритм устойчиво работает при ошибках во входных данных, достигающих 15-ти процентов и снабжен опциями, позволяющими отфильтровывать пиксели, которые не могут быть корректно обработаны. Алгоритм может быть использован для любых спутниковых датчиков, работающих в видимом диапазоне спектра.

Использованные в работе алгоритмы операционного восстановления температуры поверхности воды по спутниковым данным в инфракрасном диапазоне спектра были разработаны в ИКИ (Россия) и НАСА (США).

Полученные многолетние ряды восстановленных по квази-синхронным спутниковым данным полей параметров качества ладожских вод и температуры поверхности воды позволили установить ряд важных закономерностей в термогидродинамике и гидробиологии Ладожского озера, вскрывающих тонкие механизмы взаимодействия абиотических и биотических процессов в этом водоеме.

Новый универсальный биооптический алгоритм для спутниковых систем исследования Мирового Океана

Коросов А.А. (anton.korosov@niersc.spb.ru), Поздняков Д.В.

Научный фонд "Нансен-Центр", ул. Б. Монетная 26/28, 197101 Санкт-Петербург, Россия

Петтерссон Л.Х.

Центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена, Берген, Норвегия

Разработан новый операционный алгоритм восстановления параметров качества вод, в основе которого заложено каскадное использование нейронных цепей и техники многомерной оптимизации. Алгоритм устойчиво работает при ошибках во входных данных достигающих 15-ти процентов и снабжен опциями, позволяющими отфильтровывать пиксели, которые не могут быть корректно обработаны по одной из следующих причин: а) ошибочная атмосферной коррекция, б) оптические свойства вод в пределах пикселя не описываются заложенной в алгоритм гидрооптической моделью, в) наличие на поверхности оптически-активных веществ.

Разработанный алгоритм был исследован на предмет точности восстановления параметров качества вод для разных гидрооптических ситуаций. Для этого были использованы как модельные данные, так и контактные данные, полученные в квазисинхронном режиме с пролетом спутникового датчика (SeaWiFS) над рядом природных водоемов.

Алгоритм может быть использован в операционном режиме для обработки данных с любых спутниковых датчиков, работающих в видимом диапазоне спектра.

Использование информации AVHRR/NOAA о параметрах подстилающей поверхности для оценки составляющих гидрологического цикла речного водосбора

Старцева З.П. (zoya@aqua.laser.ru), Музылев Е.Л.

Институт водных проблем Российской академии наук Москва, ул. Губкина 3, 119991 Москва, Россия

Успенский А.Б. (uspensky@planet.iitp.ru), Волкова Е.В.

НИЦ космической гидрометеорологии "Планета" Росгидромета, Б. Предтеченский пер. 7, 123242 Москва, Россия

Предложен метод определения по данным измерений радиометра AVHRR ИСЗ NOAA значений эффективной радиационной температуры $T_{s,eff}$ и излучательной способности ϵ подстилающей поверхности, температур воздуха в приповерхностном слое T_a и почвы T_g , нормализованного индекса вегетации NDVI, проективного покрытия растительностью B и листового индекса LAI. Величина $T_{s,eff}$ является линейной комбинацией T_a и T_g , взятых с разными весами. Исследования выполнялись на примере водосбора р. Сейм (Курская обл.) площадью 7460 км², находящегося в лесостепной зоне, для сезонов вегетации 1997, 1999–2002 гг.

Разработанный метод включает:

- подготовку архивов синхронных спутниковых и наземных наблюдений для территории Курского региона и названных вегетационных периодов;
- разработку и адаптацию к условиям измерений автоматизированных пороговых алгоритмов детектирования облачности и выделения безоблачных фрагментов на изображениях AVHRR;
- разработку алгоритма оценивания величин B в индивидуальном элементе изображения (пикселе) AVHRR, основанного на использовании трех значений NDVI: (для данного пикселя; максимального, соответствующего сплошной растительности; минимального – для оголенной почвы). Оценки NDVI получены по данным измерений в 1-ом и 2-ом каналах AVHRR;

- создание алгоритма оценки излучательной способности ϵ по данным измерений в 4-м и 5-м каналах AVHRR, основанного на априорных моделях спектрального поведения ϵ и эмпирических связях между B и NDVI, ϵ и B ;
- построение и испытание линейных регрессионных алгоритмов типа расщепленного окна прозрачности для оценки $T_{s,eff}$, T_a , T_g , анализ статистики ошибок спутниковых оценок T_a и T_g путем сравнения с данными наземных наблюдений;
- анализ корреляционных связей между спутниковыми оценками NDVI и LAI, выбор регрессионных формул оценивания LAI по значениям NDVI, пригодных для усвоения в модели гидрологического цикла.

Сопоставление спутниковых оценок T_a , $T_{s,eff}$ и T_g с данными синхронных наблюдений на 6 агрометеостанциях Курской области (из накопленного архива) дает для различных временных периодов осреднения в течение названных сезонов вегетации значения среднеквадратичных погрешностей в диапазонах 1.5–2.5°C, 2.0–3.5°C, 2.5–4.2°C, соответственно.

Спутниковые оценки описанных характеристик использованы для калибровки и верификации физико-математической модели вертикального тепло- и влагопереноса в системе "почва-растительность-атмосфера" (SVAT), а также для расчетов с помощью этой модели составляющих гидрологического цикла для речного водосбора. Модель SVAT предназначена для расчета испарения с голой почвы, транспирации растительности, профилей влажности и температуры почвы, а также температуры растительного покрова для любого интервала времени в течение периода вегетации. Пространственные неоднородности почвенного и растительного покровов характеризуются в модели набором почвенно-гидрологических параметров и параметров растительности, наиболее значимые из которых – коэффициент фильтрации K_0 , минимальное устьичное сопротивление r_0 и листовой индекс LAI. Калибровка и верификация модели проводились по данным измерений суммарного испарения E_v , профилей влажности почвы и температуры ее поверхности на агрометеостанциях региона, а также по результатам сравнения значений радиационных температур подстилающей поверхности T_s и $T_{s,eff}$, определенных по модели и по спутниковым данным. Это сравнение показало, что различия значений T_s и $T_{s,eff}$ (1.0–2.5°C) лежат в пределах погрешности спутниковой оценки $T_{s,eff}$ при не очень высоких температурах и больших влагозапасах почвы (весной, в начале лета и осенью) и могут достигать 3–4°C при резком повышении этих температур и иссушении верхнего слоя почвы в жаркие летние дни.

Исследования чувствительности величин E_v и T_s к вариациям r_0 , LAI и интегральных альбедо почвы и растительности показали заметное влияние вариаций r_0 и LAI на величины E_v и вариаций LAI на T_s , что позволило определить сезонный ход LAI в условиях недостатка данных наземных наблюдений при использовании результатов сравнения T_s и $T_{s,eff}$.

Эксперименты по использованию спутниковых оценок LAI в качестве параметра модели показали практическое совпадение значений E_v и влагозапасов почвы и близость значений T_s и $T_{s,eff}$, рассчитанных при "наземном" и "спутниковом" способах задания LAI для периодов с невысокими температурами и относительно большой влажностью почвы, а также небольшое (в пределах точности оценки испарения) различие значений E_v для периодов высоких температур и иссушения почвы. Это позволяет рассматривать спутниковые оценки LAI как дополнение или замену данным соответствующих наземных измерений при их недостатке.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований - грант № 04-05-65062.

Нелинейные методы решения обратных задач спутниковой метеорологии в ИК-области спектра

Чавро А.И. (chavro@inm.ras.ru), Уваров Н.В., Соколов А.А.

Институт вычислительной математики РАН, ул. Губкина 8, 119991 Москва, Россия

К настоящему времени уже достаточно хорошо развиты линейные методы решения обратных задач дистанционного зондирования в ИК-области спектра. Однако из-за нелинейного характера связи между измеряемыми функционалами и определяемыми параметрами в ИК-области спектра процесс линеаризации обратной задачи приводит к существенным погрешностям при ее решении. В связи с этим в последнее время начали развиваться нелинейные методы решения указанных задач, включая вариационные [1].

В данной работе приводятся результаты модельных расчетов прямой задачи с учетом основных механизмов трансформации уходящего собственного излучения системы "океан-атмосфера", а также предлагается комбинированная методика решения обратной задачи, основанная на использовании решения методом статистического оценивания с минимальной среднеквадратичной погрешностью и вариационного метода усвоения данных спутниковых измерений. Вначале задача решается методом линейного статистического оценивания. Затем это решение, которое в линейном приближении является наиболее точным, используется в качестве первого приближения в итерационном методе Ньютона при решении вариационной задачи усвоения данных спутниковых измерений. Такой подход позволяет получать достаточно точное решение обратной задачи. В качестве второго подхода к решению обратных задач дистанционного зондирования предложено представлять решение задачи в виде оптимального полинома второй степени от отклонений от средних значений измеряемых параметров [2].

Этот метод позволил учесть нелинейный характер зависимости между измеряемыми сигналами и определяемыми параметрами атмосферы и океана и существенно повысить точность решения. Приводятся результаты численных экспериментов восстановления температуры поверхности океана, скорости приводного ветра и вертикальных профилей температуры и удельной влажности атмосферы.

1. Чавро А.И., Уваров В.Н. Определение вертикальных профилей температуры и скорости приводного ветра методом вариационного усвоения данных спутниковых измерений. *Наукоемкие технологии*, 2003, 4, 6, 35–40.
2. Соколов А.А. Нелинейный метод редукции решения обратных задач для обработки сигналов информационно-измерительных спутниковых систем. *Информационно-измерительные и управляющие системы*, 2003, 1, 5–6, 43–48.

Информативность спутникового метода определения микроструктуры стратосферного аэрозоля

Чайка А.М., Тимофеев Ю.М., Поляков А.В. (alexandr@AP13786.spb.edu)

НИИ физики Санкт-Петербургского государственного университета, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Различные спутниковые эксперименты (SAGE I, SAGE II, SAGE III, POAM, Озон-Мир, HALOE, GOMOS и т.д.), измеряющие прозрачность атмосферы на касательных трассах (по Солнцу, Луне, звездам), позволяют определять спектральный коэффициент аэрозольного ослабления как функцию длины волны λ и высоты в атмосфере $z - \alpha(\lambda, z)$. Эта информация в дальнейшем используется для решения обратной задачи относительно характеристик микроструктуры стратосферного аэрозоля – функции распределения частиц по размерам $f(r, z)$, интегральной площади $S(z)$ и объема $V(z)$ стратосферных аэрозолей. Эта информация, получаемая в глобальном масштабе, играет важную роль в анализе влияния стратосферного аэрозоля на радиационные и фотохимические процессы в атмосфере.

В работе анализируются разные постановки обратной задачи по определению микроструктуры стратосферного аэрозоля из данных о $\alpha(\lambda, z)$. Проведены расчеты информативности измерений $\alpha(\lambda, z)$ в терминах количества информации по Шеннону и объема информации по Козлову. Рассматривается количественный вклад в формирование решения обратной задачи различного типа априорной информации (различных методов регуляризации) и самих измерений спектрального коэффициента аэрозольного ослабления при различных погрешностях измерений и используемой спектральной области измерений.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (коды проектов 03-05-64830, 03-05-64626) и гранта УР.01.01.044. (Университеты России)

Перспективы развития системы регионального температурно-влажностного зондирования атмосферы по данным измерений аппаратуры ATOVS ИСЗ NOAA

Соловьев В.И., Успенский А.Б. (uspensky@planet.iitp.ru), Кухарский А.В.
НИЦ космической гидрометеорологии "Планета", Б. Предтеченский пер. 7, 123242 Москва, Россия

Представлено описание созданной в НИЦ "Планета" системы обработки измерений аппаратуры ATOVS ИСЗ NOAA для получения данных температурно-влажностного зондирования атмосферы (ТВЗА) регионального покрытия. Основными компонентами системы являются два связанных программных комплекса – предварительной и тематической обработки. Комплекс предварительной обработки создан на основе лицензионного пакета AAPP (AVHRR & ATOVS Processing Package). Комплекс тематической обработки является модификацией лицензионного пакета IAPP v.1 (International ATOVS Processing Package). Система обработки использует результаты спутниковых измерений и различные виды гидрометинформации из базы данных (БД) на ЭВМ CRAY Гидрометцентра РФ. Выходная продукция комплекса тематической обработки – файлы с результатами ТВЗА регионального покрытия, т.е. спутниковыми оценками профилей температуры $T_{сп}(p)$, влажности $q_{сп}(p)$ на стандартных изобарических уровнях p в слое 1000–10 гПа с пространственным разрешением 30–40 км (в среднем около 4000 реализаций для одного сеанса приема данных ATOVS ИСЗ NOAA в режиме HRPT).

В созданной системе получения данных ТВЗА гидрометинформация из БД используется в оперативном и неоперативном режимах:

- данные численного прогноза на 12 ч. Метеослужбы Великобритании, включая прогностические поля $T_{пр}(p)$, $q_{пр}(p)$ на стандартных изобарических поверхностях, приземные поля $T_{опр}$, $q_{опр}$ на сетке 2.50 x 2.50, ближайшие к сроку спутниковых зондирований, используются оперативно для моделирования измерений ATOVS, а также контроля и редактирования результатов ТВЗА;

- "неоперативное" использование гидрометинформации из БД предусматривает формирование архивов с данными объективного анализа метеополей, данными радиозондирований за сроки, ближайшие к срокам спутниковых зондирований, и последующие расчеты статистики ошибок $T_{сп}(p)$, $q_{сп}(p)$, а также обновление корректирующих параметров в процедуре редактирования результатов ТВЗА.

Рассмотрены результаты опытной эксплуатации системы получения данных ТВЗА по информации ATOVS ИСЗ NOAA-16 в период 2003 г. Для оценки достоверности, а также сравнительного анализа статистики ошибок результатов температурного зондирования и данных 12 ч. прогноза привлекались данные ближайших радиозондирований (в круге радиусом 20 км с центром в пункте спутникового зондирования, за срок 12 ч МСВ).

Величина СКО результатов температурного зондирования, усредненная по слою 1000–10 гПа и по выборке за годовой период обработки спутниковых данных составляет 1.50 С (без разделения на сезоны, типы подстилающей поверхности, безоблачные и облачные сцены), что соответствует точности современных зарубежных систем ТВЗА регионального

покрытия и примерно на 0.30 С лучше точности результатов 12 ч прогноза. При этом спутниковые оценки $T_{сп}(p)$ заметно точнее прогностических данных в нижней стратосфере: в слое 150–30 гПа среднее смещение спутниковых оценок на 0.50С меньше смещения прогностических данных; в слое выше 50 гПа спутниковые оценки $T_{сп}(p)$ почти на 1.00 С точнее результатов прогноза. В тропосферном слое 750–150 гПа точность спутниковых зондирований близка к точности результатов численного прогноза.

Важным для эффективного усвоения данных ТВЗА является слабая зависимость точностных характеристик спутниковых зондирований от срока и места зондирования. Анализ временного хода вертикальных профилей СКО для области покрытия (Европейский регион России) остаются консервативными на протяжении всего рассматриваемого периода: отмечается возрастание погрешностей в нижней тропосфере (слой 1000–850 гПа), на уровне тропопаузы (250–150 гПа) и в нижней стратосфере (выше 50 гПа). Самые достоверные оценки $T_{сп}(p)$ устойчиво получаются в слое 700–500 гПа.

Основной проблемой дальнейшего совершенствования созданной системы получения данных ТВЗА является повышение точности результатов влажностного зондирования, которая составляет 25–30% (в терминах относительной погрешности оценок профилей $q(p)$ в среднем по слою 1000–300 гПа), а также уточнение процедур детектирования и учета искажающего влияния облачности. В этой связи перспективным является привлечение результатов анализа данных AVHRR, пространственно совмещенных с данными ATOVS. Дальнейшее развитие систем получения данных ТВЗА возможно также за счет расширения области покрытия информации ATOVS и максимального сокращения (до 30 мин) временного промежутка между сроками спутниковых измерений и получения выходного продукта. Для этого целесообразно присоединиться к создаваемой по инициативе Евметсат "Службе сбора и ретрансляции данных ATOVS" (ATOVS Retransmission Service).

Детектирование и оценка параметров облачного покрова, выделение зон осадков по данным AVHRR ИСЗ NOAA

Волкова Е.В. (uspensky@planet.iitp.ru)

НИЦ космической гидрометеорологии "Планета", Б. Предтеченский пер. 7, 123242 Москва, Россия

Предложен пороговый метод автоматической классификации данных измерений радиометра AVHRR ИСЗ серии NOAA, позволяющий детектировать и оценивать параметры облачности, выделять зоны осадков. Настройка и испытание метода проводились на материале архива синхронных спутниковых и наземных синоптических данных для центрального региона ЕТР и периода 1998–2003 гг.

Предложенная методика, использующая данные спутниковых измерений AVHRR в 5 каналах (A1, A2, T3, T4, T5), а также их разности и отношения (A2–A1, T3–T4, T4–T5, T3/T4), позволяет детектировать облачность и определять ее количество, идентифицировать тип облачности и оценивать высоту верхней границы облачности (ВГО) для ЕТР (45–65° с.ш., 25–45° в.д.), а также выделять зоны осадков в бесснежное время года (май–октябрь) в светлое время суток.

При детектировании облачности используется набор предикторов, значения порогов (th) для которых рассчитываются как функции: $th(A1) = f(j, ho)$, $th(A2) = f(j, ho)$, $th(T4-T5) = f(T4)$, $th(A2-A1) = f(ho)$, $th(T3-T4) = f(j, T4, ho)$, $th(T3/T4) = f(j, ho)$, $th(T4) = (j, l, \text{месяц, число}, T)$, где j и l – географические широта и долгота рассматриваемого пиксела спутникового изображения, ho – высота солнца, T – приземная температура воздуха или подстилающей поверхности в данном пикселе; оценки T могут быть получены из численных полей анализа или прогноза, наблюдений на метеостанциях, полей температуры, восстановленных по данным измерений AMSU ИСЗ NOAA или климатических полей. Методика детектирует облачность отдельно над сушей и водной поверхностью. Точность

оценок количества облачности (при сопоставлении с данными наземных синоптических наблюдений) такова: в 85% случаев ошибка не превышает 2 октов, суммарная ошибка – 31%; вероятности правильного детектирования классов "безоблачно" (0–1 окт), "разорванная облачность" (2–6 окт.) и "сплошная облачность" (7–8 окт) соответственно равны 81, 54 и 89%.

Методика позволяет выделять 9 типов облачных пикселей: "перистообразную (Ci,Cs)", "мелкую и среднюю кучевообразную, в т.ч. слоистокучевообразную (Cu,Sc)", "высококучевую (Ac)", "высокостроистобразную (As)", "слоистодождевую (Ns)", "слоистообразную (St, в т.ч. Sc не из Cu)", "мощную кучевообразную, в т.ч. кучеводождевую (Cu cong, Cb)", "многослойную кучевообразную (Cu cong, Cb+Ci)" и "многослойную слоистообразную (Ns,As,Cs)". Визуальный анализ результатов классификации показывает удовлетворительное согласование с реальной синоптической ситуацией.

Для каждого типа облачности рассчитывается оценка ВГО. Для каждого "облачного" пикселя, сравнением измеренной радиационной температуры ВГО со значениями температуры на изобарических уровнях в атмосфере определяется предварительная оценка высоты ВГО. С учетом этой оценки и использованием уравнения переноса излучения в атмосфере и вертикальных профилей температуры и влажности (ближайшие для данного пункта зондирования) рассчитывается поправка на ослабление излучения. С помощью этой поправки корректируется измеренная радиационная температура T_4 и, далее, уточняются температура и оценка высоты ВГО. При этом для плотной облачности высота ВГО рассчитывается непосредственно с использованием в качестве дополнительной информации вертикальных профилей температуры и влажности в атмосфере; для полупрозрачной облачности "Ci,Cs", "As" и "Ac" она определяется с помощью уравнений регрессии с использованием скорректированных значений T_4 . Для класса "Ac" используется линейная регрессионная коррекция $T_4 = f(T_3)$, полученная для класса "Cu cong,Cb"; для класса "As" – линейная регрессия $T_4 = f(T_3)$ или $T_4 = f(T_4 - T_5)$, полученная по классам "Ns,As,Cs", "Ns" и "St"; для класса "Ci,Cs" – линейная регрессия $T_4 = f(T_3)$ или $T_4 = f(T_4 - T_5)$, полученная по классу "Ns,As,Cs". Найденные оценки высоты ВГО хорошо согласуются с климатическими данными о высоте ВГО для этих классов: в 90–95% случаев оценки высоты ВГО попадают в средне-климатические границы высот.

Предикторы A_1 , T_4 , $(T_4 - T_5)$ и $(A_2 - A_1)$ используются для детектирования зон осадков и разделения их на "слабые/умеренные ($I = 0.1 - 5$ мм/ч)", "сильные ($I > 5$ мм/ч)" и "опасные (очень сильные, гроза, град)". Вероятность обнаружения осадков пороговым методом составляет не менее 75%, ошибочное детектирование осадков не превышает 35% от случаев, детектированных как "осадки", вероятность выпадения осадков в пределах зоны осадков – не менее 65%, за ее пределами – не более 20%. При визуальном сопоставлении результатов детектирования больших фрагментов спутникового изображения с результатами наземных радиолокационных наблюдений отмечено удовлетворительное совпадение контуров основных зон осадков.

Мезосферные инверсии температуры по данным спутникового эксперимента CRISTA 1

Косцов В.С. (vlad@troll.phys.spbu.ru), Тимофеев Ю.М.

НИИ физики Санкт-Петербургского гос. университета, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

В результате интерпретации спектров уходящего излучения горизонта в области 15 мкм методом, учитывающим эффект нарушения локального термодинамического равновесия, получены вертикальные профили температуры в верхней стратосфере, мезосфере и нижней термосфере в квазиглобальном масштабе (космический эксперимент CRISTA 1, ноябрь 1994 г.). 85% полученных профилей характеризуются наличием мезосферных инверсий температуры. Проанализированы значения амплитуды, вертикальной

протяженности, высоты и температуры нижней границы зарегистрированных инверсий для дневных и ночных условий наблюдений.

Распределение значений амплитуды инверсий имеет максимум в области 20–30 К. Для большинства зарегистрированных инверсий значение вертикальной протяженности составляет 5 км. Высота нижней границы инверсий в среднем составляет 78 км. Амплитуда и высота нижней границы инверсий имеют выраженную широтную зависимость. Проведено сравнение полученных характеристик мезосферных инверсий температуры с данными лидарного зондирования.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (код проекта 03-05-64830) и гранта УР.01.01.044. (Университеты России)

Определение полного содержания метана в атмосферном столбе с помощью нейронной сети по данным сенсора AIRS/AQUA

Топтыгин А.Ю., Грибанов К.Г., Захаров В.И. (malex@ngw.compcent.usu.ru)

Уральский государственный университет им. А.М. Горького, пр. Ленина 51, 620083 Екатеринбург, Россия

Для количественной оценки потоков метана в атмосферу как антропогенного, так и природного происхождения на территории Западной Сибири, необходимо осуществлять ежедневное картирование его содержания в атмосфере с достаточно высоким пространственным разрешением. В данной работе разработан метод быстрого восстановления полного содержания метана в атмосферном столбе из спектров, получаемых спектрометром AIRS на спутнике AQUA со спектральным разрешением 0.4 см^{-1} . Время получения одного спектра данным прибором составляет порядка 0.03 с. Использование нейронной сети является единственной возможностью для того, чтобы осуществлять определение содержания метана из эмиссионных спектров атмосферы, наблюдаемых со спутников в том же масштабе времени, в котором выполняются измерения.

В работе предложена технология отбора спектров AIRS, полученных в условиях безоблачной атмосферы, и разработана нейронная сеть для решения обратной задачи по определению содержания метана из этих спектров. В качестве учебного и тестового наборов для тренировки и тестирования нейронной сети использовались модельные спектры, рассчитанные с помощью ПО FIRE-ARMS для большого набора атмосферных профилей температуры, влажности, концентрации метана и N_2O . Обработаны данные AIRS/AQUA за весенний сезон 2004 года и представлены примеры карт полного содержания метана на территории Западной Сибири.

Региональное картирование содержания двуокиси азота, метана и окиси углерода в атмосфере по данным спутникового зондирования

Ионов Д.В. (ionov@troll.phys.spbu.ru), Макарова М.В., Поберовский А.В.
НИИ физики Санкт-Петербургского государственного университета, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Елохов А.С., Груздев А.М., Джола А.В., Гречко Е.И.
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский 3, 109017 Москва, Россия

Кашин Ф.В., Арефьев В.Н.
Институт экспериментальной метеорологии, НПО "Тайфун", Ленина 82, Обнинск, Россия

Преимущество спутниковой системы мониторинга атмосферы по сравнению с другими – наземными, аэростатными, самолетными – состоит, безусловно, в возможности получения практически мгновенной картины пространственного распределения тех или иных параметров состояния атмосферы. Вместе с тем, специфика спутниковых

спектроскопических измерений зачастую существенно ограничивает временное и пространственное разрешение извлекаемых из них данных о газовом составе. Ряд компонент, информация о содержании которых важна для исследований атмосферы, характеризуется столь малыми концентрациями и оптической толщиной, что их наблюдение накладывает свои требования на метод и геометрию измерений. Так, многочисленные успешные эксперименты по зондированию атмосферы затменным методом (HALOE, SAGE, POAM и др.) позволяют эффективно восстанавливать вертикальное распределение большого числа МГС (озон, NO_2 , H_2O , CH_4 и др.), но только по измерениям на наклонных трассах и не более 30 раз в сутки. Сравнительно недавно появились сканирующие спутниковые приборы, осуществляющие глобальное зондирование газового состава атмосферы по измерениям отраженного и рассеянного солнечного или теплового излучения в надир. Например, измерения аппаратуры GOME (спутник ERS-2, 1995) обеспечивают глобальное картирование общего содержания (ОС) озона и NO_2 с пространственным разрешением около 40 км; аппаратура MOPITT (спутник EOS-Terra, 1999) предназначена для измерений ОС СО и CH_4 с разрешением около 20 км, а в эксперименте SCIAMACHY (спутник ENVISAT, 2002) предусмотрено глобальное картирование ОС NO_2 , H_2O , СО, CH_4 и других МГС с разрешением порядка 30 км.

В настоящей работе рассмотрены возможности картирования пространственных распределений ОС NO_2 , СО и CH_4 на основе оперативных данных спутниковых экспериментов GOME, SCIAMACHY и MOPITT. Изучена точность соответствующих спутниковых измерений по результатам сопоставлений с данными российских наземных наблюдений. Приведены примеры карт полей общего содержания NO_2 , СО и CH_4 в атмосфере Балтийского региона, а также оценки содержания этих компонент отдельно в тропосфере.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (код проекта 03-05-64626), Минпромнауки РФ (грант Президента РФ МК-2686.2003.05) и Правительства Санкт-Петербурга (грант PD02-1.5-96, PD03-1.5-43), а также гранта УР.01.01.044. (Университеты России).

Учет сферической неоднородности атмосферы при решении задач спутникового дистанционного зондирования на касательных трассах

Ракитин А.В., Косцов В.С. (vlad@troll.phys.spbu.ru)

НИИ физики Санкт-Петербургского гос. университета, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Обработка данных спутникового зондирования атмосферы при касательной геометрии наблюдений в подавляющем большинстве случаев основана на использовании приближения сферически однородной атмосферы (СОА), поскольку в оптически прозрачных спектральных областях регистрируемое излучение формируется главным образом вблизи прицельной точки. Появление спектральной аппаратуры высокой точности и высокого спектрального разрешения, а также использование при решении ряда задач измерений в оптически плотных линиях, делают актуальным анализ погрешностей, обусловленных использованием приближения СОА. Решение данной задачи особенно важно при измерениях излучения в районе терминатора в линиях поглощения тех атмосферных газов, содержание которых в значительной степени определяется фотохимическими процессами.

Анализ погрешностей, обусловленных использованием приближения СОА, проведен для спутниковых приборов CRISTA и MIPAS, регистрирующих спектры ИК излучения на касательных трассах в широкой высотной области, охватывающей стратосферу, мезосферу и нижнюю термосферу.

Показано, что в области полосы поглощения CO_2 15 мкм погрешности расчета уходящего излучения в приближении СОА составляют для прицельной высоты 60 км в среднем 1.5%. В области полосы поглощения озона 9.6 мкм при измерениях в районе терминатора на высоте 70 км погрешности достигают 10% (прибор CRISTA) и 14% (прибор

MIPAS). На основе сравнения абсолютных значений погрешностей расчета уходящего излучения при использовании приближения СОА с величиной инструментальных погрешностей обсуждается необходимость учета сферической неоднородности при интерпретации данных измерений в различных условиях.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (код проекта 03-05-64830) и гранта УР.01.01.044. (Университеты России)

Методические вопросы анализа данных спутниковых ИК-зондировщиков высокого спектрального разрешения

Романов С.В. (romanov@imp.kiae.ru)

Российский научный центр "Курчатовский институт", пл. Курчатова 1, 123182 Москва, Россия

Успенский А.Б. (uspensky@planet.iitp.ru)

НИИ космической гидрометеорологии "Планета" Росгидромета, Б. Предтеченский пер. 7, 123242 Москва, Россия

Использование спутниковых ИК-зондировщиков высокого спектрального разрешения (ИК-интерферометр IASI на европейском метеоспутнике МЕТОР, запуск в 2005 г) приведет к значительному увеличению объемов спутниковой информации, что делает весьма актуальным создание эффективных процедур "сжатия" данных (без потерь информативности) и их тематической обработки для получения выходных продуктов с требуемыми точностными характеристиками. В докладе приведены результаты исследований по созданию эффективных процедур "сжатия" и фильтрации моделированных данных измерений IASI в каналах полосы $650\text{--}770\text{ см}^{-1}$ поглощения CO_2 с помощью алгоритмов метода главных компонент (МГК).

Обсуждается применение техники МГК для детектирования облачных образований в поле зрения прибора, возможность восстановления "безоблачных" спектров, исходно искаженных облачностью, что необходимо для восстановления профиля температуры с приемлемой точностью. Рассмотрена задача выделения "суперканалов", актуальная для эффективной тематической обработки данных в целях дистанционного температурного зондирования атмосферы. Изложение иллюстрируется результатами численных экспериментов с моделированными данными IASI.

СЕКЦИЯ 6. ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ И ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ СПЕКТРА

Председатель: проф. Ю.М. Тимофеев (СПбГУ, Санкт-Петербург)

Сопредседатели: д.ф.-м.н. Г.Г. Щукин (ГГО, Санкт-Петербург), проф. В.Е. Куницын (МГУ, Москва), д.ф.-м.н. Б.Г. Кутуза (ИРЭ, Москва), к.ф.-м.н. В.К. Семенов (КГНУ, Бишкек, Киргизстан)

Климатология общего содержания озона и стратосферной двуокиси азота над Северным Тянь-Шанем (по измерениям на станции Иссык-Куль)

Семенов В.К. (svk@elcat.kg), Синяков В.П., Сорокина Л.И., Игнатова Н.И.

Киргизский национальный университет, Фрунзе 547, 720033 Бишкек, Киргизия

Арефьев В.Н., Вишератин К.Н., Кашин Ф.В.

Институт экспериментальной метеорологии, НПО "Тайфун", Ленина 82, Обнинск, Россия

Представлены результаты измерения общего содержания озона (ОСО) (с 1980 по 2003 гг.) и общего содержания стратосферного NO₂ (ОС NO₂) (с 1983 по 2003 гг.) на станции Иссык-Куль (42.6°N, 77.0°E, 1650 m a.s.l.), расположенной в горах Северного Тянь-Шаня. Измерения ОСО проведены по прямому солнечному излучению с помощью спектрофотометра, для измерения ОС NO₂ использовались два комплекса аппаратуры, идентичных по их оптическим параметрам. Первый комплекс применялся в 1983–2000 гг., второй – с 2001 г. по настоящее время. Новый комплекс аппаратуры сертифицирован NDSC по результатам сравнения приборов в Звенигороде (Россия) в сентябре 1997 г. В 1983–2000 г. расчет ОС NO₂ производился с использованием трех длин волн. С 2001 г. применялся метод спектрального дифференциального поглощения с использованием всего спектрального интервала 430–450 нм. В обоих случаях при расчете ОС NO₂ учитывалось поглощение озоном, однократное молекулярное и аэрозольное рассеяние, а также деформация спектра Ринг эффектом. Точность определения наклонного содержания NO₂ в обоих случаях около 10%. Привязка данных, полученных в 1983–2000 гг., к данным нового прибора проведена по результатам синхронной работы двух комплексов в течение примерно 1.5 лет в 2001–2002 г. Это позволило получить однородный 22-летний ряд стратосферного NO₂ над Северным Тянь-Шанем.

Определены статистически значимые периодические колебания различного временного масштаба. Существенными характеристиками изменчивости ОСО и стратосферного ОС NO₂ являются четкий сезонный цикл и статистически значимые линейные тренды: отрицательный для ОСО величиной 4.3% за десятилетие и положительный для ОС NO₂ – около 5–7% за десятилетие.

Определены коэффициенты корреляция между ОСО и ОС NO₂ и другими параметрами атмосферы: температурой воздуха на разных высотах, скоростью ветра в нижней стратосфере, индексами явлений Эль-Ниньо/Южное колебание (SOI) и Северо-Атлантическое колебание с солнечной активностью (СА).

В межгодовых изменениях ОСО просматриваются квазидвухлетние колебания для периода 1993–1998 гг. с удвоенной амплитудой около 18 е.Д.; быстрый спад ОСО в 1998–2000 г. со скоростью – 3.6%/год и заметный положительный рост в период с 2001 по 2003 гг. со скоростью + 2.5%/год.

Спектральный анализ рядов ОСО и ОС NO₂, освобожденных от линейного тренда и сезонной компоненты, выявил следующие гармоники: для ОСО наблюдаются колебания вблизи периодов 15, 18, 21, 24–25, 27–29, 32–34, 45–50, 102–110 месяцев. Среди них наиболее стабильны и схожи с простой гармонической волной колебания с периодами

вблизи 102, 27 и 12 мес. Короткопериодные колебания ОСО имеют характер периодически возникающих и затухающих пульсаций. Эти пульсации наиболее часто наблюдаются вблизи периодов 27–29, 34–36 дней. Значительные амплитуды колебаний периодически возникают также в спектральных интервалах 13–17, 21–24 и 40–65 дней. Для ОС NO₂ обнаружены колебания с периодами 9, 15, 18, 24, 34, 68 и 102 месяцев.

В изменчивости ОС NO₂ над Северным Тянь-Шанем в период с ноября 1991 по декабрь 1992 г. были зарегистрированы отрицательные аномалии, связанные с выбросом вулканического аэрозоля в стратосферу при извержении вулкана Пинатубо. Наименьшее значение ОС NO₂ утром, равное 0,55·10¹⁵ мол/см², наблюдалось в январе 1992 года. Эта величина на 70% ниже среднего многолетнего.

Работа выполнена при финансовой поддержке Международного научно-технического центра (грант Кг-763), Российского фонда фундаментальных исследований (грант 04-05-64702) и Киргизского агентства по науке и интеллектуальной собственности (тема 4/97).

Исследования долговременных вариаций содержания СО и СН₄ в атмосфере над центральной Россией (1970-2004 гг.)

Гречко Е.И. (grechko@ifaran.ru), Джола А.В. (dzhola@ifaran.ru)

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский 3, 109017 Москва, Россия

Юрганов Л.Н. (leonid@jamstec.go.jp)

Перспективная система для исследования глобальных изменений, Иокогама, Япония.

Оксид углерода и метан, хотя и являются малыми газовыми составляющими атмосферы, играют важную роль в климатических и химических процессах в атмосфере. В частности, метан – это парниковый газ, а оксид углерода – важный компонент фотохимических реакций с участием гидроксильного радикала.

В настоящей работе представлены результаты систематических спектроскопических измерений (в течение 1970–2004 годов) содержания окиси углерода и метана в атмосфере. Измерения проводились на Звенигородской научной станции ИФА РАН. Анализ 34-летнего ряда измерений содержания окиси углерода на ЗНС показал, что скорость роста СО в период с 1970 по 2004 г. в среднем составляла 0.9% в год. Аналогичный тренд наблюдался в Швейцарских Альпах в 1950–1987 г.г. Это в три раза выше, чем скорость роста СО для периода 1920–1950 г.г., полученная из анализа воздуха из кернов льда. Скорость изменения содержания СО была при этом непостоянна. С 1970 по 1984 г. наблюдался устойчивый рост со средней скоростью 1.9% в год. Для периода с 1985 по 2003 г. для зимне-весеннего сезона наблюдался отрицательный тренд – 0.3% в год, а для летне-осеннего сезона средний тренд был + 0.1% в год. В последние годы скорость роста содержания СО в атмосфере, по-видимому, снова повышается, как для летнего, так и для зимнего периодов. Летом 1998 и 2002 годов содержания СО в атмосфере были аномально высоки. Аналогичное повышенное содержание СО наблюдалось практически на всех станциях мониторинга северного полушария и со спутника TERRA/MOPITT. Основной причиной этого явления были сильные пожары в европейской части России.

Анализ 30 летнего ряда измерений содержания метана на ЗНС приводит к заключению о возрастании содержания этого газа в атмосфере в среднем со скоростью 0.5% в год.

Измерения общего содержания озона в атмосфере в 47 РАЭ

Сизов Н.И. (las@typhon.obninck.org), Кашин Ф.В., Акименко Р.М.

Институт экспериментальной метеорологии, НПО "Тайфун", Ленина 82, Обнинск, Россия

Радионов В.Ф. (vradion@aari.nv.ru)

ГУ Арктический и Антарктический НИИ, Беринга 38, 199397 Санкт-Петербург, Россия

Приводятся результаты измерений общего содержания озона (ОСО), полученных на антарктических станциях Новолазаревская, Мирный и Восток в 2002–2003 гг. Для измерений ОСО использовался фильтровый озонметр М-124, модифицированный для работы с персональным компьютером. Результаты измерений подтвердили существование весенней озоновой аномалии. В августе и сентябре наблюдались наиболее низкие значения ОСО (170–190 е.Д.). В октябре ОСО возросло до (260–300 е.Д.). Весенняя озоновая аномалия совпала по времени с возникновением весенней аномалии температуры на уровне 50 гПа. По данным аэрологического зондирования температура на этом уровне возрастала от – 80°С в сентябре до – 40°С в октябре.

Абсолютные значения ОСО и характер его изменения на 3-х антарктических станциях существенно различаются, что связано с географическим расположением станций Восток, Мирный и Новолазаревская. В 2002–2003 гг. отмечено уменьшение ОСО по сравнению с предыдущими годами, особенно сильное на станции Новолазаревская (173 е.Д.) и Восток (207 е.Д.), поскольку они расположены ближе к центру циркумполярного вихря. На станции Мирный, находящейся на периферии циркумполярного вихря, наблюдались резкие межсуточные колебания ОСО весной (от 225 е.Д. 8 сентября до 452 е.Д. 23 сентября), вызванные поступлением в этот район воздушных масс с высоким содержанием озона из умеренных широт.

Приводится зависимость ОСО от географической широты в весенний период по измерениям в акватории Атлантического океана в 1999–2002 гг. В экваториальных широтах ОСО имеет минимальное значение (240–260 е.Д.) и увеличивается выше 10° для северной и южной широты. При этом для Северного полушария характерно резкое возрастание ОСО (до 360–370 е.Д. на широте 56°N). Для Южного полушария ОСО возрастает до 290–300 е.Д. на широте 50–55°S и уменьшается до 200–210 е.Д. на широте 68–70°S.). Полученные данные согласуются с результатами спутниковых измерений ОСО аппаратурой TOMS.

Вариации приземной концентрации метана по результатам измерений под Санкт-Петербургом

Парамонова Н.Н., Привалов В.И., Решетников А.И. (Reshal@peterlink.ru)

Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Карбышева 7, 194 021 Санкт-Петербург, Россия

Представлены результаты долговременных измерений приземной концентрации метана в Воейково под Санкт-Петербургом. Измерения проводились газохроматографическим методом, рекомендованным ВМО для измерений на сети Глобальной службы атмосферы. Сопоставимость с данными мировой сети обеспечивается привязкой используемого стандарта с эталоном ВМО, а также серией международных сравнений.

Особенности расположения места измерений позволяют регистрировать как представительные для региона уровни концентрации (при поступлении воздушных масс из свободного от антропогенной активности северо-восточного сектора), так и оценивать влияние эмиссии метана промышленной зоной Санкт-Петербурга.

На основе анализа данных измерений получены характерные дневные ходы концентрации метана, выделен сезонный ход, амплитуда которого примерно в 2 раза превышает значение, характерное для фоновых условий. Получены значения избытка

концентрации метана над фоновым уровнем и проведено их сравнение с аналогичными данными для районов Германии и Великобритании.

Исследование временной изменчивости содержаний метана в толще атмосферы в районе Санкт-Петербурга

Макарова М.В. (zaitis@troll.phys.spbu.ru), Поберовский А.В., Апарина Т.В., Тимофеев Ю.М.
НИИ физики Санкт-Петербургского гос. университета, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Анализируются данные четырнадцатилетних измерений общих содержаний метана в толще атмосферы в районе Санкт-Петербурга (59.88° N, 29.83° E, 20 м над уровнем моря). Случайные погрешности разового определения содержания метана и величин среднедневного содержания CH_4 составляют порядка 4% и 1–3% соответственно. Средний годовой ход содержания CH_4 в районе Санкт-Петербурга для периода 1991–2003 гг. имеет амплитуду порядка 3%. Средний годовой ход содержания CH_4 имеет максимум в ноябре–декабре, минимальные значения наблюдаются в июне–августе. Оценки скоростей роста содержания метана для Санкт-Петербурга показали, что в период 1991–1998 гг. наблюдалось медленное увеличение содержания CH_4 , сменившееся падением в 1999–2002 гг.

Для периода 1998–2000 гг. проведен анализ влияния процесса переноса воздушных масс на наблюдаемые значения общего содержания CH_4 для района Санкт-Петербурга.

Исследования, представленные в данной работе, поддержаны грантами РФФИ 02-05-64711, УР.01.01.044. (Университеты России), грантом для молодых кандидатов наук Санкт-Петербурга PD03-1.5-104.

Спектральная яркость снега

Кохановский А.А. (alexk@iup.physik.uni-bremen.de)
Институт физики им. Б.И. Степанова НАНБ, пр. Скарини 70, 220072 Минск, Беларусь
Институт дистанционного зондирования, Бременский университет, Бремен, Германия

Зеге Э.П. (eleonor@zege.bas-net.by)
Институт физики им. Б.И. Степанова НАНБ, пр. Скарини 70, 220072 Минск, Беларусь

Снег покрывает значительные территории Евразии и Северной Америки в зимние месяцы. Это приводит к сезонной модуляции планетарного альбедо, что представляет значительный интерес для проблем климата. Для количественной оценки влияния этого фактора на климат необходимы дистанционные космические измерения степени покрытия земной поверхности снегом, глубины снежного покрова, а также некоторых других характеристик, включая степень загрязненности снега различными примесями и эффективного размера снежных зерен.

В настоящее время эти вопросы решаются с использованием комплексных оптических и микроволновых спутниковых измерений. В частности, степень покрытия земной поверхности снегом оценивается по космическим снимкам, полученным в оптическом диапазоне. Алгоритмы определения степени загрязнения снега и эффективного размера снежных зерен основаны на моделировании спектральной яркости снега, измеренной оптическим инструментом космического базирования, с использованием аппарата теории переноса излучения. При этом локальные оптические характеристики снега рассчитываются в приближении сферических рассеивающих центров, расположенных на значительном удалении друг от друга. Применимость этих предположений к оптике снега обычно не обсуждается. Вместе с тем, очевидно, что модель плотноупакованных несферических частиц находится в большем соответствии с реальной микроструктурой снега. Широкое распространение упрощенной модели основано на ее относительной простоте. На самом

деле, строгое решение задачи о переносе оптического излучения в плотноупакованной среде с крупными несферическими частицами в настоящее время отсутствует.

Данная работа посвящена обсуждению возможных ошибок определения концентрации примесей в снеге и эффективного размера снежных зерен, восстановленных в рамках стандартной модели, игнорирующей несферическую форму снежных зерен и эффекты плотной упаковки. Рассмотрение проведено в рамках асимптотической теории переноса излучения с использованием модели несферических фрактальных рассеивателей. В частности, предложена простая формула, описывающая спектральную яркость снега, и показано, что стандартная модель приводит к заниженным значениям восстановленного эффективного размера ледяных частиц в снеге.

Многомодальные структуры и информационные инварианты деградирующих экосистем при оценке прибрежных территорий Земли из космоса

Смокий О.И. (soi@aspid.nw.ru)

СПб институт информатики и автоматизации, 14 линия 39, 199178 Санкт-Петербург, Россия

Гусейнов Г.А. (galib@azeuro.net)

Азербайджанское Национальное Аэрокосмическое Агентство, Баку, Азербайджан

Рассмотрены вопросы оптимизации условий дистанционного изучения деградации прибрежных территорий Земли по характерной пространственно-временной изменчивости яркости горно-лесных экосистем на примере космической съемки побережья Каспийского моря в Азербайджане. В рамках модели трансформации к условиям съемки характерных контрастов яркости дистанционно зондируемых прибрежных территорий определены наиболее информативные диапазоны для параметров, масштабов и направлений развития деградирующих процессов. С учетом многомодальности динамических режимов процесса деградации проводятся оценки вероятности близости текущего состояния к критическому диапазону.

Изучение долгопериодических составляющих деградации лесных массивов южного побережья Каспия проводилось наряду с анализом многолетних рядов изменчивости метеопараметров. Наблюдаемый дрейф метеопараметров в сторону более жестких режимов (от влажно-субтропического к сухому) связывается с перераспределением низкочастотных составляющих для оптических контрастов наблюдаемых изображений, влияющих на геофизические факторы и, в частности, на радиационный баланс. Таким образом, дистанционно наблюдаемые пространственные распределения низкочастотных оптических контрастов могут также использоваться в качестве косвенных характеристик индикации степени деградации лесных экосистем. В то время как из диапазона высокочастотных составляющих пространственных распределений контрастов яркостей определяются наиболее информативные направления распространения прогнозируемого процесса деградации.

Уточнение наиболее информативных спектрально-оптических диапазонов измеряемых контрастов, как и других параметров, проводится на основе анализа их функции чувствительности в рамках модели трансформации к условиям съемки. В рамках той же модели трансформации и с учетом многомодальности динамической структуры деградации лесного массива формулируются информационные инварианты, определяющие адекватные информационные метрики и условия сопоставимости дистанционных измерений параметров текущего состояния и/или идентифицируемого режима динамики.

Оптимальное планирование эксперимента при мультиспектральном дистанционном зондировании оптически активных веществ в океане

Левин И.М. (levin@ocopt.spb.ru)

*Санкт-Петербургский филиал Института океанологии им. П.П. Ширинова РАН, Таврическая 11, 193015
Санкт-Петербург, Россия*

Левина Е.И.

Факультет статистики, Мичиганский университет, США

Проблема дистанционного определения оптически активных веществ (ОАВ) – фитопланктона, взвеси и растворенной органики – остается одной из наиболее распространенных задач изучения океана. В большом количестве работ, посвященных этой проблеме (см., например, [1, 2]), поиск оптимальных спектральных каналов ведется без учета шумов приемника. Учет шумов различного происхождения в этой задаче проведен в серии работ И.В. Золотухина и И.М. Левина (см., например, [3]) на основе теории оптимального планирования эксперимента В.П. Козлова [4]. Для осуществления рассчитанных в этих работах оптимальных каналов необходим специфический приемник ("приемник Козлова"), в котором световые потоки, прошедшие через оптимальные спектральные окна, разделяются на две группы, каждая из которых суммируется на "своем" фотодетекторе. Однако, современные оптические приемники, применяемые для дистанционного зондирования океана, либо состоят из нескольких независимых фотодетекторов с соответствующими светофильтрами (например, SeaWiFS), либо представляют собой так называемые "мультиспектральные сенсоры", состоящие из многих независимых спектральных каналов. К этим приемникам теория оптимального планирования В.П. Козлова не применима.

Задача данной работы – оценка точности восстановления концентрации ОАВ в океане по измерениям существующими типами приемников с учетом фотонных (дробовых) шумов и шумов темнового тока фотодетектора. Эта оценка проводится на основе метода учета шумов, предложенного в теории планирования эксперимента В.П. Козлова.

Мы разработали алгоритм поиска наилучшей линейной оценки концентрации ОАВ в океане по измеренным спектрам восходящей яркости с помощью мультиспектрального приемника с учетом его шумов. Алгоритм требует знания моментов совместного распределения спектров и концентраций ОАВ, которые были получены статистическим моделированием на основе моделей яркости океана. Расчет остаточной дисперсии оценки концентраций для различных приемников, различных ОАВ и условий наблюдения показал, что учет шумов приемника практически всегда изменяет оценку точности восстановления концентрации фитопланктона, взвеси и растворенной органики. Увеличение точности возможно за счет увеличения объема априорной информации о районе и условиях наблюдения и за счет увеличения энергетического ресурса системы (апертуры объектива, телесного угла приема и времени наблюдения). В целом, учет шумов приемника дает гораздо более реалистическую оценку точности восстановления концентрации ОАВ и позволяет выбрать оптимальный метод наблюдения.

Работа поддержана грантом РФФИ 04-05-65133.

1. Sathyendranath S., Hoge F.E., Platt T., Swift, R.N. Detection of phytoplankton pigments from ocean color: improved algorithms. *Appl. Optics*, 1994, **33**, 1081-1089.
2. Lee Z., Carder, K.L. Effect of spectral band numbers on the retrieval of water column and bottom properties from ocean color data. *Appl. Optics*, 2002, **41**, 2191–2201.
3. Козлов В.П.. Избранные труды по теории планирования эксперимента и обратным задачам оптического зондирования. С.-Петербург: Изд. СПбГУ, 2000, 498 стр.
4. Золотухин И.В., Левин И.М. Применение теории оптимального планирования эксперимента в задаче дистанционного определения концентрации фитопланктона и других оптически активных веществ в океане. *Изв. РАН, ФАО*, 1999, **35**, 679-688.

Представление данных многозонального дистанционного зондирования подстилающей поверхности для визуальной интерпретации

Шереметьева Т.А. (tsher@niiki.ru), Филиппов Г.Н., Малов А.Н.

НИИ комплексных испытаний оптоэлектронных приборов, 188540 Сосновый Бор Лен. обл., Россия

Представлен способ визуализации данных дистанционного зондирования подстилающей поверхности, позволяющий быстро синтезировать разнородные данные для дешифрирования человеком-оператором. Способ пригоден как для обработки снимков одного диапазона, так и для обработки многозональных и гиперзональных снимков. Метод позволяет при визуализации использовать априорные сведения. Всевозможные способы предварительной обработки изображений также могут быть легко включены в процесс визуализации. Способ позволяет получить множество вариантов визуализации из одних и тех же данных. Отличие этих вариантов обусловлены задачей дешифрирования.

Особенно эффективен способ для оперативного выполнения задач дешифровки при выделении малоконтрастных объектов. Способ позволяет существенно уменьшить влияние на результаты дешифрирования конкретных условий съемки. Способ реализован в программном продукте.

Численное исследование атмосферных и ионосферных возмущений, вызванных наземными источниками

Ахмедов Р.Р. (ravan@phys.msu.su), Куницын В.Е. (kunitsyn@phys.msu.su)

Физический фак-т МГУ им. М.В.Ломоносова, Ленинские горы, 119992 Москва, Россия

В 90-х годах, с развитием дистанционных методов зондирования атмосферы с помощью спутников, началась новая эра в области исследования возмущений плазмы в верхней атмосфере, вызванных разного рода источниками. Среди таких источников особую роль играют сильные землетрясения, ядерные испытания, промышленные взрывы и т.д. Впервые радиотомографические методы позволили получить двумерные сечения перемещающихся ионосферных возмущений и долгоживущих неоднородностей в ионосферной плазме. В настоящее время существующие радиотомографические системы и сеть приемников GPS/ГЛОНАСС дают возможность исследовать данное явление непрерывно в широких временных и пространственных масштабах. Но накопленный экспериментальный материал требует детальной интерпретации.

В представленной работе были численно промоделированы генерация и распространение акустико-гравитационных волн в атмосфере от импульсных и длиннопериодных наземных источников. С помощью разработанного метода были вычислены ионосферные волновые возмущения, генерированные во время прохождения акустико-гравитационных волн через верхнюю атмосферу. При этом учитывалось влияние геомагнитного поля на формирование ионосферных возмущений. Таким образом, были рассчитаны вариации полного электронного содержания в разных направлениях луча спутник-приемник. Было замечено, что в зависимости ориентации магнитного поля по отношению источника очень сильно меняются количественные и качественные свойства ионосферных возмущений.

По полученным результатам во время импульсных возмущений в ионосфере возбуждаются полные интегрированные возмущения с периодами от 200 с до 1000 с и более в зависимости от направления и местонахождения приемника. Большинство наблюдений подтверждают это.

Таким образом, разработанный метод позволяет интерпретировать результаты спутниковых и др. наблюдений. Кроме того, априорная информация о пространственных и временных характеристиках атмосферных и ионосферных возмущений, которую можно

получить с помощью разработанной численной модели, позволит значительно повысить эффективность постановки томографических и др. экспериментов в будущем.

Волновая структура возмущений средней атмосферы по данным оптических наблюдений обсерваторий Алма-Аты и Сьерра-Невады

Сулейменов И.Э. (sul@ionos.alma-ata.su), Аушев В.М.

Институт ионосферы МОН РК, Каменское Плато, 480020 Алматы, Казахстан

Лопез-Гонзалес М.Д.

Андалузский институт астрофизики, Гранада, Испания

В работе представлены результаты оптических измерений эмиссии послесвечения ночного неба с помощью приборов MORTI (Алма-Ата) и SATI (Сьерра-Невада) [1], конструкция которых использует один и тот же физический принцип, основанный на одномоментной интерферометрической регистрации оптических спектров в диапазоне длин волн, отвечающих атмосферной полосе молекулярного кислорода 0-1. Это позволяет определять как частотные характеристики волн, так и направление их движения.

На основе измерений строились спектры колебаний средней атмосферы в диапазоне, соответствующем периодам от долей часа до единиц часов. Полученные спектры имеют сложную структуру, однако нами установлено, что все разности частот между статистически значимыми колебаниями могут быть получены комбинированием двух постоянных для данной структуры величин. Т.е. реально наблюдаемые частоты могут рассматриваться как комбинационные.

Показано, что в большинстве случаев (как по данным наблюдений в Казахстане, так и по данным наблюдений в Испании) составляющая с наименьшей частотой сохраняет практически постоянное положение, причем значение этой частоты, полученное как по результатам наблюдений в Алма-Ате, так и по результатам измерений в Сьерра-Неваде, остается одним и тем же. Напротив, частота второго колебания может заметно варьироваться как от одного дня наблюдений к другому, так и при переходе от одной географической точки наблюдения к другой. Постоянство одной из частот, допускающих расшифровку спектров, позволяет однозначно связать эту частоту с внешними гравитационными волнами, обусловленными вращением Земли.

Интерпретация поведения второй составляющей дана на основе эффекта усиления акустико-гравитационных волн под воздействием солнечной радиации. Явление усиления таких волн сходно с усилением обычных акустических волн в наземных условиях, что многократно наблюдалось различными авторами для самых различных неравновесных сред, включая плазму низкотемпературного газового разряда и колебательно-возбужденный газ [2, 3].

Сделан вывод, что в атмосфере может самопроизвольно возникать особый тип колебаний, представляющих собой результат предельного усиления малых флуктуаций в полосе частот, отвечающих акустико-гравитационным волнам. Физический механизм усиления как акустических, так и акустико-гравитационных волн основывается на передаче энергии от внешнего источника к усиливающейся волне. Передаточным звеном в верхней атмосфере служат свободных радикалы, образующиеся вследствие реакций фотодиссоциации молекулярного кислорода. Частота волн, генерируемых под воздействием поглощения солнечной радиации, остается постоянной только в том случае, если физико-химические характеристики среды остаются неизменными во времени. Для условий средней атмосферы это заведомо не выполняется, прежде всего потому, что химический состав атмосферы по нечетному кислороду на рассматриваемых высотах заметно варьируется от дня ко дню. Поскольку характеристики контура усиления определяются в первую очередь содержанием химически активных частиц, то изменение их концентрации заведомо

приводит к изменению частоты колебаний рассматриваемого вида. Сложный характер наблюдаемых колебаний обусловлен нелинейным взаимодействием волн.

1. Wiens, R.H., Zhang, S.P., Peterson, R.N., Shepherd, G.G. MORTI: A Mesopause Oxygen Rotational Imager. *Planet. Space Sci.*, 1991, **39**, 1363-1375.
2. Александров Н.Л., Напартович А.П., Паль А.Ф., Серов А.В., Старостин А.Н. Усиление звуковых волн в плазме газового разряда. *Физика плазмы*, 1990, **16**, В.4, 862-870.
3. Галечян Г.А. Акустические волны в плазме. *Успехи физических наук*, 1995, **165**, 12, 1357-1379.

Моделирование томографической реконструкции турбулентной атмосферы

Куницын В.Е., Терещенко Е.Д., Андреева Е.С., Козлова М.О. (kozlova@phys.msu.su)
*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физический. фак., Воробьевы Горы, 119992
Москва, Россия*

Структура атмосферы определяется как стратификацией по высоте, так и наличием турбулизированных областей разных масштабов и форм. В силу высокой пространственно-временной изменчивости турбулентной атмосферы ее исследование является непростой задачей. Дистанционное зондирование электромагнитными волнами представляется одним из наиболее эффективных методов исследования турбулентной атмосферы. При зондировании движущимся источником и приеме зондирующего сигнала в ряде наземных приемных пунктов может ставиться задача томографического восстановления структуры атмосферы. При этом можно проводить реконструкцию либо крупномасштабных (по сравнению с радиусом Френеля) неоднородностей методом лучевой томографии, либо восстанавливать статистическую структуру распределения мелкомасштабных неоднородностей. Задачи томографического восстановления могут ставиться и решаться для различных областей атмосферы. Для исследования структуры ионосферы в настоящее время успешно применяется спутниковая радиотомография, позволяющая восстановить двумерные сечения электронной плотности (в случае лучевой РТ крупномасштабных неоднородностей) или распределение интенсивности флуктуаций электронной плотности (в случае статистической томографии мелкомасштабных неоднородностей) в ионосфере по данным спутникового радиопросвечивания волнами УКВ диапазона. Для исследования структуры стратосферы и тропосферы могут применяться различные схемы просвечивания с использованием оптического излучения и радиоволн сантиметрового диапазона; восстанавливаемой величиной может являться показатель преломления или интенсивность его флуктуаций. Для разных областей атмосферы структура базового интегрального уравнения как лучевой, так и статистической томографии подобна, однако восстановление статистической структуры среды имеет некоторую специфику, связанную со структурой спектра рассеивающих неоднородностей. В общем случае спектр неоднородностей турбулентной атмосферы может быть как изотропным, так и анизотропным. Изотропный спектр, по-видимому, характерен для больших чисел Рейнольдса на малых масштабах (вблизи границы диссипации). Эта ситуация отвечает прямому каскаду передачи энергии (от больших масштабов к малым) и описывается классической теорией Колмогорова, предполагающей локальную изотропию неоднородностей. Однако во многих исследованиях было показано, что наряду с прямым каскадом передачи энергии в турбулентной среде может существовать и обратный каскад с передачей энергии от малых масштабов к большим. При этом могут образовываться так называемые когерентные структуры, в которых сосредоточивается большая часть спектральной энергии. Такие структуры обнаруживают существенную анизотропию. Наличие анизотропии маскирует структуру пространственного распределения неоднородностей и вносит свою специфику в процесс томографической реконструкции, однако не является существенным препятствием и в ряде случаев может быть учтено.

Проведено моделирование решения прямой и обратной томографической задачи для ряда типичных структур турбулентной атмосферы: полубесконечных и ограниченных по горизонтали плоских горизонтальных слоев, их комбинаций, волновых структур и т.п. Показано, что все представленные модели удается успешно реконструировать томографическим методом. При этом наилучшее разрешение дает томографический метод, основанный на разностных измерениях (разности линейных интегралов). Вертикальное разрешение можно улучшить, если использовать данные по квазигоризонтальным лучам. Приведены примеры реконструкции методом статистической томографии.

Исследования влияния аэрозольного и многократного рассеяния на поляризацию сумеречного неба

Угольников О.С. (ugol@tanatos.asc.rssi.ru), Маслов И.А.

Институт Космических Исследований РАН, Профсоюзная 84/32, 117997 Москва, Россия

Постыляков О.В.

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский 3, 109017 Москва, Россия

Измерения фона неба в различные периоды сумерек могут дать много информации об оптических свойствах атмосферы Земли на различных высотах, так как по мере погружения Солнца под горизонт высота земной тени и, соответственно, эффективная высота рассеяния быстро увеличиваются. В особенности это относится к поляризационным исследованиям, так как они дают дополнительную информацию для разделения фона неба на основные составляющие. Поляризационные наблюдения эффективны также для исследований свойств аэрозольных частиц на различных высотах в атмосфере.

Одна из главных проблем, возникающих при восстановлении оптических свойств атмосферы, – необходимость учета многократного рассеяния солнечного излучения, вклад которого в общий фон неба может быть весьма значительным. Так же как и рассеяние на аэрозольных частицах, многократное рассеяние уменьшает поляризацию фона неба, а вдали от зенита приводит к появлению обратной поляризации. По этим причинам во многих работах фон многократного рассеяния часто принимался за аэрозольное рассеяние, что приводило к существенным неточностям в оценках вклада обеих компонент и их свойств. Большое количество входных параметров модели атмосферного аэрозоля и крайняя сложность их влияния на фон рассеяния высоких порядков существенно затрудняют точное решение обратной задачи восстановления параметров атмосферы по данным измерений.

Целью настоящей работы является выделение эффектов многократного и аэрозольного рассеяния в различные периоды сумерек, построение приближенных эмпирических методов оценки вклада этих компонент в общий фон неба и выявление их поляризационных свойств. Основой работы являются поляризационные наблюдения сумеречного неба, проведенные в 1997–2003 годах в четырех диапазонах видимой части спектра с эффективными длинами волн 360, 440, 550 и 700 нм.

В результате анализа наблюдательных данных было получено, что для большинства ясных дней на длинах волн 360, 440 и 550 нм вклад однократного аэрозольного рассеяния в период сумерек является несущественным (при этом аэрозоль может оказывать значительное влияние на многократное рассеяние). Эффекты однократного аэрозольного рассеяния появляются только после восхода (или до захода) Солнца, когда прямое солнечное излучение начинает достаточно хорошо освещать тропосферу. Поляризационные свойства сумеречного неба в данной спектральной области определяются взаимодействием однократного молекулярного и многократного рассеяния, что и послужило основой метода их разделения. Данный метод использует тот факт, что точка максимальной поляризации однократного молекулярного рассеяния в течение сумерек движется по солнечному вертикалу, находясь все время в 90 градусах от Солнца, а точка максимальной поляризации многократного рассеяния практически неподвижна.

С помощью указанного метода было получено, что в момент восхода (захода) Солнца вклад однократного рассеяния составляет всего около 40% от общего фона неба на длине волны 360 нм, но возрастает до 60–70% на 550 нм. Результаты оказались в хорошем согласии с данными численного интегрирования уравнения переноса для различных моделей атмосферы и объясняют наблюдаемую цветовую и поляризационную эволюцию сумеречного неба с погружением Солнца под горизонт.

Лишь на длине волны 700 нм однократное аэрозольное рассеяние становится заметным в период светлых сумерек, увеличивая интенсивность фона неба и уменьшая его поляризацию. На основе анализа дифференциальных характеристик фона вблизи зенита была оценена поляризация аэрозольного рассеяния под прямым углом (около 20%) и вклад аэрозольного рассеяния в фон неба, изменяющийся от 10% до 50% в зависимости от состояния атмосферы.

Об определении направленного коэффициента рассеяния в условиях сумерек

Шакун Л.С. (spirits@tm.odessa.ua), Мотрич В.Д., Мелякянц С.М.

*НИИ "Астрономическая обсерватория" при Одесском национальном университете, парк Т.Г. Шевченко, 65014
Одесса, Украина*

Для определения рассеивающих свойств атмосферы может быть использован метод сумеречного зондирования атмосферы. Указанный метод позволяет определить зависимость направленного коэффициента рассеяния атмосферы от высоты над земной поверхностью. Для решения этой задачи наблюдаемую яркость сумеречного неба разделяют на яркость первичных сумерек, яркость вторичных сумерек и фон неба. Затем из полученной яркости первичных сумерек путём решения обратной задачи сумеречного зондирования определяют зависимость направленного коэффициента рассеяния атмосферы от высоты. Получаемые результаты существенно зависят как от методики разделения яркости сумеречного неба, так и от уровня шума в измеряемой яркости сумеречного неба.

В основе рассматриваемой методики разделения яркости сумеречного неба лежит метод определения яркости неба в экспоненциальной атмосфере, предложенный О.И. Смоктием [1].

На основе численного моделирования определяется точность разделения яркости сумеречного неба на яркость первичных и вторичных сумерек в экспоненциальной атмосфере. Рассматривается влияние случайных ошибок наблюдений и точности выделения яркости первичных сумерек на оценку зависимости направленного коэффициента рассеяния атмосферы от высоты над земной поверхностью. Приводится пример определения направленного коэффициента рассеяния по сумеречным наблюдениям на наблюдательной станции Одесской астрономической обсерватории при Одесском национальном университете в с. Маяки.

1. Смоктий О.И. Многократное рассеяние света в неоднородной сферически-симметричной планетной атмосфере. *Физика атмосферы и океана*, 1967, 3, 5, 496-506.

Методы лидарного определения параметров атмосферы

Егоров А.Д. (shchukin@main.mgo.rssi.ru), Потапова И.А., Привалов Д.В.

Филиал ГГО им. А.И. Воейкова (НИЦ дистанционного зондирования атмосферы), Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

Методы лидарного зондирования атмосферы используются для решения ряда задач, в том числе для дистанционного определения характеристик облаков, метеорологической дальности видимости, аэрозольного состава атмосферы. В работе развито направление интерпретации лидарной информации, основанное на строгом решении лидарного уравнения

и учитывающее, что алгоритм, включающий процедуру дифференцирования, отличается значительной случайной погрешностью. Предложены решения лидарного уравнения, предусматривающие интегрирование эхо-сигналов, принятых в различных точках пространства. В предложенных методиках обработки лидарных сигналов интегральные решения выступают в качестве соотношений, связывающих между собой определяемые коэффициенты ослабления и обратного рассеяния. В отличие от известных алгоритмов обработки сигналов лидарного зондирования для адекватного описания характеристик неоднородной атмосферы учтены существенные вариации связи между коэффициентами ослабления и обратного рассеяния, причем строгое решение удалось распространить на случай конечной фоновой засветки, которая рассматривается в качестве одной из неизвестных величин. Операция определения степени в связи между оптическими коэффициентами может быть положена в основу метода сравнения результатов лидарных и независимых измерений характеристик неоднородной атмосферы. Анализ эффективности схем многопозиционного зондирования неоднородной атмосферы осуществлен посредством решения прямой и обратной задачи и с использованием наблюдательного материала, что позволило учесть в процессе моделирования особенности аппаратуры и условий зондирования атмосферы.

Работа выполнена при финансовой поддержке по гранту Президента Российской Федерации НШ-1793.2003.5.

Лидарные измерения аэрозольного ослабления методом наклонных трасс

Свердлик Л.Г. (lidar@istc.kg)

Киргизско-Российский Славянский университет, Киевская 44, 720000 Бишкек, Кыргызстан

Применение лидаров, использующих эффекты комбинационного рассеяния, значительно расширяет возможности дистанционного исследования атмосферы, прежде всего из-за независимого определения коэффициентов ослабления и обратного рассеяния. Однако зондирование с использованием рамановского сигнала, вследствие его малой интенсивности, имеет смысл только для достаточно загрязненной атмосферы и ограничено темным временем суток. Это обусловило дополнить проводимые исследования наклонными измерениями, которые свободны от недостатков рамановского зондирования и эффективны при условии горизонтальной однородности атмосферных слоев, что часто имеет место в реальных условиях. Облегчает применение метода то, что условие горизонтальной неоднородности может контролироваться по данным лидарных измерений, если число углов зондирования не меньше 3. Получение дополнительной информации по этому методу о коэффициентах ослабления значительно повышает обусловленность обратных задач лидарного зондирования. В задаче численного дифференцирования при определении коэффициента ослабления применялся метод сглаживания данных путем усреднения по пяти точкам.

Измерения, проведенные с целью получения вертикальных профилей коэффициента аэрозольного ослабления в условиях пространственной и временной устойчивости тропосферного слоя, показали достаточно хорошее соответствие результатов наклонного и рамановского зондирования. Оценки степени близости профилей ослабления были получены методом статистической обработки величин разностей ослабления $\Delta\alpha$. Получено, что средняя величина разности ослабления равна 0.0086 км^{-1} с доверительной вероятностью 0.95. Погрешность этой средней составляет $\pm 0.0024 \text{ км}^{-1}$. Таким образом, $\overline{\Delta\alpha} = (0.0086 \pm 0.0024) \text{ км}^{-1}$, $P = 95\%$.

Для выявления динамики трансформации высотных профилей коэффициента ослабления при устойчивом состоянии воздушных масс был проведен круглосуточный лидарный эксперимент с использованием метода наклонных трасс. Указанный набор углов

обеспечивает надежное перекрытие расчетных интервалов $\alpha(z)$ и позволяет получить его значения до высот 3.5–4.0 км. Нижняя граница, соответствующая высоте 0.3 км, ограничена влиянием теневой зоны и геометрической функции лидара. Количество циклов накопления лазерных импульсов с целью минимизации длительности процесса измерения устанавливалось равным 1500. Пространственное разрешение – 30 м.

Проведенная серия наклонных зондирований показывает наличие сложной структуры и большого диапазона изменений величины и градиентов вертикального профиля ослабления $\alpha(h)$ в области высот 0.5–2.5 км, проявляющихся в инверсном поведении содержания аэрозоля. Результаты свидетельствуют о сложной структуре формирования профилей $\alpha(h)$ в течение суток, что обусловлено горной орографией и спецификой горно-долинной циркуляции в нижней тропосфере. На основании проведенного статистического анализа можно говорить о том, что выполнение суточных измерений в условиях горно-долинной циркуляции, когда воздушная масса последовательно проходит все фазы, включая зарождение, полное развитие, затухание с переходом в штиль и сменой направления движения, позволяет определить пространственную вертикальную структуру аэрозольных полей в регионе. Оценка протяженности слоев циркуляции показывает, что высота внутреннего слоя перемешивания достигает 1.2–1.5 км, а основного слоя активного перемешивания от 2.3–2.5 км в светлое время суток до 2.7 км ночью. При этом аэрозоль, прежде всего, заполняет внутренний слой (местной циркуляции), а затем поднимается до верхней границы. Большой диапазон изменений величины и градиентов вертикального профиля $\alpha(h)$ в области высот 0.5–2.5 км отмечается лишь в течение 20–25% времени суток. Формируются два максимума в значениях коэффициента ослабления: дневной в 11–15 и вечерний в 18 часов, что обусловлено интенсивностью вертикальных движений. Высотные профили $\alpha(h)$, полученные в ночное время, когда радиационное выхолаживание способствует образованию устойчивых состояний атмосферы, характеризуются значениями, близкими к фоновым ($\alpha(h) = 0.02\text{--}0.05 \text{ км}^{-1}$).

Таким образом, при значительно превосходящих, по сравнению с рамановским, затратах времени на проведение сеанса измерений и обработки сигналов, метод наклонного зондирования имеет ряд преимуществ. В условиях, когда сигнал рамановского зондирования трудно выделить из-за значительной оптической толщи нижних слоев тропосферы или из-за высокого уровня фонового сигнала при дневных измерениях, наклонный метод дает вполне приемлемые результаты.

Еще одним немаловажным преимуществом является возможность существенного сокращения границы теневой зоны некоаксиального лидара. По сравнению с вертикальными измерениями она уменьшается в три раза.

Поляризационные характеристики лидарных сигналов, отраженных от перистых облаков

Кустова Н.В. (kustova@iao.ru), Боровой А.Г.

Институт оптики атмосферы СО РАН, пр. Академический 1, 634055 Томск, Россия

Оппель У.Г.

Мюнхенский Людвиг-Максимилиан Университет, Германия

Изучение оптических и микрофизических параметров перистых облаков необходимо для построения современных численных моделей изменения климата, долгосрочного прогноза погоды и др. При этом одним из перспективных методов измерения оптических параметров перистых облаков является использование поляризационного лидара, который, в принципе, измеряет все элементы матрицы рассеяния в направлениях, близких к направлению назад. Вместе с тем, интерпретация сигналов поляризационных лидаров осложняется тем, что при рассеянии света на ледяных кристаллах в направлении назад

рассеянное излучение, рассчитанное в рамках приближения геометрической оптики, проявляет сингулярность, т.е. принимает бесконечно большое значение. Учет волновых свойств света, например в рамках физической оптики, сглаживает эту сингулярность и не приводит, таким образом, к физическим противоречиям. Но строгий количественный расчет лидарных сигналов, отраженных от ледяных кристаллов, в настоящее время отсутствует. Цель данной работы – заполнить этот пробел.

В работе используется разработанный нами в рамках приближения физической оптики алгоритм численного расчета матрицы Мюллера для кристаллических частиц. Для успешной реализации этого алгоритма нам потребовалось провести детальное исследование процесса рассеяния в направлении назад для ледяных гексагональных цилиндров в рамках геометрической оптики. Полученная физическая картина позволила упростить схему расчетов и довести время расчета на стандартном персональном компьютере до разумных пределов. Вычисленные значения для лидарного отношения и коэффициента деполяризации сравниваются с экспериментально измеренными значениями.

Работа поддержана грантами INTAS (№ 01–0239), CRDF (№ RG2–2357–TO–02) и РФФИ (№ 03–05–64745).

Результаты синхронных измерений окиси углерода во всей толще атмосферы и субмикронного аэрозоля в приземном слое в Пекине

Гречко Е.И., Джола А.В. (dzhola@yandex.ru), Емиленко А.С., Фокеева Е.В.
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский 3, 109017 Москва, Россия

Ван Генчень

Институт физики атмосферы Академии Наук Китая

Представлены многолетние данные измерений содержания окиси углерода во всей толще атмосферы спектральным методом зондирования по солнцу в сочетании с синхронными измерениями концентрации субмикронного аэрозоля в приземном слое, выполненные сотрудниками ИФА РАН осенью 1992, 1996–2003 гг. и летом 1999 в Пекине. Полное содержание окиси углерода в толще атмосферы определялось по поглощению солнечного излучения в ИК–области спектра. Повторяемость солнечных дней, благоприятных для спектроскопических измерений в Пекине, составляет 70–80%. Для определения массовой концентрации субмикронного аэрозоля использовался фотоэлектрический фотометр ФАН-А. Профили температуры, влажности, скорости и направления ветра обеспечивались до высот 300 метров с помощью метеорологической вышки.

Вариации в течение дня содержания СО в вертикальном столбе атмосферы и концентрации приземного аэрозоля, как правило, существенно скоррелированы, однако в некоторых случаях, особенно в утренние часы, уровни содержания СО во всей толще атмосферы и локальные концентрации аэрозоля антикоррелируют или существенной связи не наблюдается.

Наиболее низкие значения содержания СО во всей толще атмосферы, близкие к фоновым, наблюдаются при северном, северо-восточном и северо-западном ветрах. Наиболее высокие значения наблюдаются при слабом ветре южного направления. При слабом ветре содержание СО обычно существенно меняется в течение дня, причем максимальные значения наблюдаются чаще всего с 12 до 15 часов.

Рассмотрены среднедневные значения превышения полного содержания СО в городе над региональным фоновым содержанием (ΔU). Проанализированы значения ΔU в зависимости от средних в слое 300 м направлений ветра. Представлены результаты сравнения среднедневных значений концентрации приземного аэрозоля и городской добавки ΔU общего содержания окиси углерода в логарифмическом виде по данным всех измерений 1992–2003 гг. Данные 2000–2003 гг. выделены. Наблюдается высокая корреляционная связь,

как для массива данных 1992–1999 (коэффициент корреляции – 0.86), так и для 2000–2003 гг. (коэффициент корреляции – 0.9), однако в 2000–2003 гг. тем же, что и в 1992–1999 гг. содержаниям угарного газа в толще атмосферы над городом соответствуют более низкие приземные концентрации субмикронного аэрозоля. Такие изменения предположительно связаны с изменением структуры выбросов загрязняющих веществ: в 2000 году основные источники эмиссии загрязняющих веществ в Пекине были частично устранены в связи с переходом котельных в центральной части города с угля на газ. Вместе с тем в Пекине в 2003 году по сравнению с 1996 годом на порядок возросло количество автомобилей.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ 02-05-39014.

Определение общего содержания атмосферного N_2O спектроскопическим методом

Поберовский А.В., Семакин С.Г. (sgs@rbcmail.ru)

НИИ физики Санкт-Петербургского гос. университета, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Наземные спектроскопические измерения общего содержания (ОС) N_2O во всей толще атмосферы проводятся в НИИФ СПбГУ (Ст. Петергоф, Санкт-Петербург) с 1991 г. В методике определения ОС N_2O по измеренным спектрам прямой солнечной радиации [1] в интервале $2540\text{--}2580\text{ см}^{-1}$ учитывается поглощение всех атмосферных газов, имеющих полосы поглощения в регистрируемом спектральном интервале. При интерпретации спектров наблюдается систематическое рассогласование (остаток) между экспериментальным и рассчитанным спектрами.

С целью уменьшения погрешности определения ОС N_2O проведён анализ возможного влияния на спектральный ход остатка характеристик аппаратуры – сдвига и деформации шкалы длин волн, интерференции света в оптических элементах спектрометра, а также не учитываемой в оптической модели атмосферы компоненты. Осреднённая спектральная функция остатка включена в методику определения ОС N_2O . Проведена интерпретация ряда измеренных спектров по уточнённой методике и сравнение полученных ОС N_2O с результатами предыдущей обработки спектров.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (код проекта 02-05-64711) и УР.01.01.044. (Университеты России).

1. МIRONENKOV A.B., POBEROVSKIY A.B., TIMOFEEV YU.M. Методика интерпретации ИК спектров прямой солнечной радиации для определения общего содержания атмосферных газов. *Физика атмосферы и океана*, **32**, 2, 207–215.

Спектрометрические наземные измерения общих содержаний NO_2 и O_3

Шашкин А.В. (sav@troll.phys.spbu.ru), Поберовский А.В. (pober@troll.phys.spbu.ru)

НИИ физики Санкт-Петербургского гос. университета, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

В НИИФ СПбГУ (Ст. Петергоф, Санкт-Петербург) с апреля 2002 г. осуществляется определение общих содержаний (ОС) NO_2 и O_3 по спектрам рассеянного в зените солнечного излучения. Регулярные измерения спектров в спектральном диапазоне $4284\text{--}5152\text{ Å}$ проводятся автоматическим спектральным комплексом на базе монохроматора МДР-12 до зенитных углов Солнца $\sim 96^\circ$. Для контроля и учёта изменчивости оптических свойств атмосферы во время измерений одновременно регистрируется рассеянное излучение в спектральном интервале $4400\text{--}4450\text{ Å}$, выделяемом интерференционным фильтром.

Определение ОС NO_2 и ОС O_3 из спектров для каждого зенитного угла (наклонное содержание) производится методом наименьших квадратов с использованием опорного спектра рассеянного солнечного излучения, полученного в условиях стабильной безоблачной

атмосферы и малых зенитных углов Солнца, и модели эксперимента, включающей параметры, определяющие некоторые характеристики аппаратуры и поглощающие и рассеивающие свойства оптически активных компонент атмосферы. При обработке спектров автоматически определяются и уточняются: возможные небольшие сдвиги и деформации шкалы длин волн спектрометра; временная изменчивость яркости зенита; спектр рассеянного излучения уличного освещения, который появляется при проведении измерений при зенитных углах Солнца больших $\sim 93^\circ$. Для расчёта ОС NO_2 и ОС O_3 из наклонных содержаний используются эффективные атмосферные массы, рассчитанные для сферической атмосферы со стандартными вертикальными профилями отношений смеси NO_2 и O_3 и с учётом фотохимических изменений содержаний NO_2 при заходе Солнца [1].

Представлены результаты анализа полученного двухлетнего ряда наблюдений ОС NO_2 и ОС O_3 , их сравнение с данными спутниковых измерений и измерениями ОС O_3 в пос. Воейково (ГГО).

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (код проекта 02-05-64711) и УР.01.01.044. (Университеты России).

1. Sarkissian A., Roscoe H.K., Fish D.J. Ozone and NO_2 air-mass factors for zenith-sky spectrometers: intercomparison of calculations with different radiative transfer model. *Geophys.Res.Lett.*, 1995, **22**, 1113-1116.

Анализ одного метода решения обратной задачи восстановления функции распределения аэрозольных частиц по спутниковым измерениям прозрачности атмосферы

Чайка А.М.

НИИ физики Санкт-Петербургского государственного университета, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

В статье Уи [1] был предложен простой, так называемый, LME (Linear Minimizing Error) метод решения обратной задачи восстановления функции распределения частиц по размерам стратосферного аэрозоля по восстановленным спектральным объемным коэффициентам аэрозольного ослабления (ОКАО). Этот метод является простейшим из семейства регрессионных методик. В цитируемой работе также описывается реализация этой методики (получен решающий оператор) для восстановления распределений сернокислотного стратосферного аэрозоля в диапазоне радиусов частиц от 0.1 до 1.0 микрона с использованием ОКАО на 4 (или менее) длинах волн аэрозольных каналов спутникового прибора SAGE II.

Вышеупомянутый решающий оператор был получен в предположении, что функция распределения частиц по размерам принадлежит некоему априорному ансамблю, а весовая концентрация серной кислоты в каплях и температура постоянны (то есть показатель преломления известен и зависит только от длины волны).

Как показали проведенные автором настоящего доклада вычисления, данный решающий оператор не восстанавливает все аэрозольные распределения, принадлежащие априорному ансамблю, на котором этот оператор создавался. Восстанавливаются только распределения с относительно большим содержанием крупных частиц.

Кроме того, проведена проверка данного решающего оператора на других аэрозольных распределениях. По результатам расчетов можно сделать следующие выводы:

1. Предложенный решающий оператор, в общем случае, малопригоден для восстановления функций распределения, вероятных для стратосферного аэрозоля и не обеспечивает приведенные в работе Уи точности решения обратной задачи даже для ряда распределений, принадлежащих ансамблю, на котором он создавался.
2. Рассматриваемый решающий оператор может быть использован для восстановления ограниченного класса распределений сернокислого аэрозоля, удовлетворяющих следующим условиям:

- а) десятичный логарифм отношения значения функции распределения в первом интервале размеров частиц (0.1–0.15 мкм) к ее значению в последнем интервале (0.95–1.0 мкм) лежит в пределах от 2.5 до 4.5;
- б) отношения ОКАО на минимальной используемой длине волны (0.385 мкм) к значению ОКАО на максимальной используемой длине волны (1.02 мкм) лежат в пределах от 1.5 до 5.5.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (код проекта 03-05-64626) и УР.01.01.044. (Университеты России)

1. Yue G.K. A new approach to retrieval of aerosol size distributions and integral properties from SAGE II aerosol extinction spectra. *Journ. Geophys. Res.*, 1999, **104**, D22, 27491-27506.

Результаты измерения содержания окиси углерода в Москве и Подмоскowie во время лесных пожаров в июле–сентябре 2002 года

Фокеева Е.В. (fokeeva@ifaran.ru), Гречко Е.И., Джола А.В.

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский 3, 109017 Москва, Россия

Приведены результаты измерения полного содержания окиси углерода в июле–сентябре 2002 года в Москве и на Звенигородской научной станции (ЗНС), расположенной в 50 км на запад от Москвы. Измерения проводились по поглощению солнечного излучения с помощью идентичных спектроскопических установок, состоящих из системы слежения за Солнцем и дифракционного спектрометра с разрешением 0.25 см^{-1} в рабочей области спектра 4.7 мкм. Обработка спектров велась по методике эквивалентной полуширины с использованием коэффициентов перехода, рассчитанных с помощью модельных спектров.

Анализируются результаты измерений, полученных в период с конца июля по середину сентября 2002 года. В это время в Московской, Тверской и Ярославской областях было много лесных пожаров и пожаров торфяников, особенно интенсивных в восточном направлении от Москвы в Егорьевском районе. Наблюдалось сильное задымление в Москве и в Подмоскowie и уменьшение дальности видимости до 1-го км. В периоды максимального задымления в отдельных районах города дальность видимости снижалась до 300 м, а иногда и до 100 м. В период с конца июля до середины сентября 2002 г. на ЗНС в отдельные дни были зафиксированы такие высокие значения полного содержания СО, какие никогда не наблюдались за все 32 года измерений. Максимальное значение содержания наблюдалось 10 сентября и составляло 0.240 атм·см, что почти в 3 раза превышает среднюю многолетнюю величину (за 1993–2001 гг.), характерную для сентября месяца. По данным многолетних измерений в Москве в центре города такие значения содержания наблюдаются всего один–два раза в год, когда метеорологические условия способствуют накоплению антропогенных выбросов СО над городом. Из анализа данных синхронных измерений содержания СО в Москве и на ЗНС можно сделать вывод, что мощность источника СО от пожаров, существенно превышает мощность городских источников СО.

Наибольшее значение содержание СО в Москве в период задымления пожарами наблюдалось 5 сентября, при этом величина содержания СО в максимуме дневного хода составила 0.300 атм·см. Следует отметить, что 5 сентября было зафиксировано максимальное за весь период пожаров значение концентрации сажевого аэрозоля в Москве.

Измерения со спутника "Terra" в рамках программы МОРИТТ также показывали повышенное содержание СО для московского региона в этот период. Для того же района со спутника было зафиксировано значительное повышение оптической толщины тонкодисперсного аэрозоля, обычно связанное с пожарами. Эти данные также подтверждается наземными измерениями на ЗНС.

Функции когерентности и проблемы информационной калибровки полей яркости природных образований при съемке Земли из космоса

Смокий О.И. (soi@aspid.nw.ru)

СПб институт информатики и автоматизации, 14 линия 39, 199178 Санкт-Петербург, Россия

Гусейнов Г.А. (glib@azeuro.net)

Азербайджанское Национальное Аэрокосмическое Агентство, Баку, Азербайджан

В работе рассматриваются проблемы поиска адекватных функционалов информационной калибровки спектрометрических данных при дистанционном зондировании Земли из космоса с использованием функции когерентности. Формулируются задачи многомасштабных преобразований дистанционно зондируемых характеристик соответственно масштабам пространственно-временной когерентности при трансформации спектрально-радиационных образов. Формулируется задача поиска информационных инвариантов в пространстве группы непрерывных преобразований Ли для моделирования природных процессов нелинейными уравнениями диффузии и распространения, в том числе популяций. Рассмотрены возможности группового подхода к синтезу информационных инвариантов калибровки данных дистанционного зондирования природной среды из космоса.

Основным преимуществом рассмотренной постановки использования нелинейных преобразований является возможность формулировки с единых позиций задачи оптимального планирования спектральной, угловой, и пространственной изменчивости регистрируемых характеристик яркости природных образований. Это позволяет приблизиться к решению проблемы выбора единых информационных критериев калибровки данных дистанционного спектрофотометрирования системы "атмосфера–земная поверхность" в рамках формальной схемы: параметризация – оптимальные планы – измерения – оценки параметров. При параметризации в случае отсутствия априорной информации выбираются полиномы. Здесь использовалась априорная информация о логнормальных распределениях оптических неоднородностей для параметризации функции рельефа и спектрально-отражательных свойств земной поверхности, для чего формировался оптимальный план при нелинейной функции отклика, при этом использовалось преобразования Фурье не самой функции, но функции рельефа в показателе экспоненты. В такой постановке спектральные коэффициенты Фурье преобразования инвариантны относительно пространственных и спектральных преобразований ввиду прямой взаимосвязи с характеристиками рельефа.

Элементы информационной матрицы Фишера, построенные на основе функций чувствительности, имеют прямую взаимосвязь с многомасштабными функциями когерентности и используются для имитации плана в пространстве M спектральных каналов при выбранном функционале, задающем информационную метрику калибровки. Далее используется стандартная процедура. Обычно выбирается детерминант дисперсионной матрицы оценок параметров, выраженный через матрицу Фишера. Затем результат приводится к информационной мере.

Система нелинейных преобразований использовалась для параметризации пространственно-временных распределений и многомасштабной трансформации с целью поиска инвариантных относительно условий съемки параметров для обеспечения адекватной информационной калибровки дистанционных данных. Однако такой полуэвристический подход не обеспечивает полной формализации процедуры формирования искомым инвариантных соотношений. Используя более общие свойства уравнения переноса, связанные с зеркальной симметрией полей излучения, а также с вкладом нелинейности при многократном переотражении от подстилающей поверхности, можно применить группу непрерывных преобразований Ли для получения функции преобразования к новой системе, относительно которой инвариантен искомый функционал. В результате получаем соотношения, выражающие группу непрерывных преобразований Ли относительно

параметров, соответствующих частным производным, аналогичным функции чувствительности. Если использовать в этих преобразованиях параметрические представления спектрально-яркостной характеристики подстилающей поверхности, то с учетом приведенной параметризации приходим к искомой системе уравнений. При этом для каждого типа преобразования (вращения, трансляции, отражения, подобия), задаваемого из приведенной системы уравнений, вычисляется соответствующий инвариант.

Применение томографических методов для восстановления двумерного распределения малых газовых составляющих

Савельева Н.В. (nasa2000@yandex.ru, nasa@corpit.ru), Куницын В.Е.

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физический. фак., Воробьевы Горы, 119992
Москва, Россия*

В докладе предпринята попытка извлечения данных о двумерном распределении малых газовых составляющих (МГС) в интервале высот от 10 до 100 км (горизонтальная протяженность области реконструкции составляет 1500–2000 км) при лимбовом зондировании атмосферы в оптическом диапазоне. Моделировалась ситуация эксперимента аналогичного SAGE III. Изначально ряд экспериментов SAGE I–III проектировался с целью восстановления вертикальных (одномерных) профилей МГС. Физическая модель эксперимента предполагает квазисферическую симметрию концентрации МГС. Предполагается, что можно отказаться от данного условия и получить двумерные распределения МГС. Зондирование проводится при взаимном перемещении источника и приемника, то есть объект зондируется с нескольких направлений. Трудность задачи состоит в том, что угловой диапазон между данными направлениями невелик, поэтому речи о "полноценной" томографии быть не может. Следовательно, в данном случае мы имеем дело с экстремальным случаем малоракурсной томографии. Тем не менее, результаты моделирования показывают, что даже в таком, на первый взгляд безнадежном случае, при помощи метода томографической реконструкции можно получать данные о горизонтальной неоднородности распределения МГС.

Была построена численная модель эксперимента. Данные реального эксперимента включают в себя измерения интенсивности солнечного излучения а) вне атмосферы и б) после прохождения через слой атмосферы, а также измерения величин, характеризующих геометрию эксперимента – положение спутника и прибора относительно Земли и Солнца. Были введены предположения: а) об отсутствии сферической симметрии в распределении МГС и б) о нелинейности траектории луча, то есть учитывалась рефракция в слое атмосферы. С учетом данных предположений была построена модель движения источника и приемника, положения просвечиваемой среды и расчета траекторий луча в среде.

Построение модели, четко повторяющей экспериментальную ситуацию, позволило провести ряд численных экспериментов, целью которых было изучение возможности восстановления двумерных профилей концентрации МГС. При восстановлении двумерных распределений использовался математический аппарат и программное обеспечение, разработанное на кафедре физики атмосферы МГУ, адаптированные для случая малоракурсной томографии.

Показана возможность восстановления горизонтальных градиентов концентрации МГС. Приведены результаты моделирования томографической реконструкции атмосферных неоднородностей МГС на высотах от 70 до 90 км, то есть в мезосфере.

СЕКЦИЯ 7. РАДИАЦИОННЫЕ АЛГОРИТМЫ В МОДЕЛЯХ ПРОГНОЗА ПОГОДЫ И КЛИМАТА

Председатель: к.ф.-м.н. П.С. Спорышев (ГГО, Санкт-Петербург)

Сопредседатели: к.ф.-м.н. Л.Р. Дмитриева-Арраго (ГМЦ, Москва),

д.ф.-м.н. Б.А. Фомин (ИАЭ, Москва)

Информационно-вычислительная система "Атмосферная радиация"

Фирсов К.М. (fkf@iao.ru), Фазлиев А.З., Сакерин С.М., Журавлева Т.Б.

Институт оптики атмосферы СО РАН, Академический 1, 634055 Томск, Россия

В докладе описана структура и функциональные возможности разрабатываемой информационно-вычислительной системы (ИВС) "Атмосферная радиация", которая основывается на результатах многолетних исследований, проводимых в Институте оптики атмосферы:

- В ИОА СО РАН работает уникальный аппаратно-программный комплекс, который по совокупности технических возможностей является единственным за Уралом и обеспечивает оперативное получение данных как по всем компонентам коротковолновой радиации в спектральном диапазоне от 0.3 до 4 мкм, так и ключевым характеристикам атмосферы (аэрозольная оптическая толщина, дисперсный состав аэрозоля, общее влагосодержание и др.).
- На основе многолетних исследований спектральной прозрачности атмосферы в различных регионах Евразии и Атлантики получен ряд важных результатов о закономерностях пространственно-временной изменчивости аэрозоля, его взаимосвязям с метеопараметрами.
- Разработаны эффективные алгоритмы расчета статистических характеристик солнечной радиации методом Монте-Карло, которые использовались для изучения закономерностей переноса радиации в безоблачной атмосфере, в условиях разорванной облачности.
- Развита методика расчета функций пропускания атмосферных газов в виде рядов экспонент применительно к рассеивающим средам с учетом неоднородности атмосферы, перекрывания полос поглощения и аппаратной функции радиометров.

Перечисленные результаты являлись основой для осуществления проекта по созданию доступной по сети Интернет информационно-вычислительной системы, которая позволяет проводить расчеты оптических и радиационных характеристик атмосферы (вертикальные профили спектральных и интегральных потоков оптического излучения, вертикальные профили оптических характеристик молекулярного и аэрозольного ослабления) и обеспечивает доступ к результатам мониторинга нисходящих потоков солнечной коротковолновой радиации, аэрозоля, общего содержания паров воды и озона на основе измерений, проводимых в распределенной сети фотометров в Сибири.

ИВС будет построена средствами Интернет-технологий в рамках Java 2. Диалоговая система ИВС основана на разрабатываемой нами онтологии по атмосферной радиации. Объем числовых данных ИВС составляет ~ 12 Гб. Ежедневное пополнение 1.5–2 Мб. Данные аккумулируются в БД (СУБД MySQL). Архитектура системы позволяет расширять ее функциональные возможности путем добавления модулей, оформленных по заданным правилам. Система является отторгаемым продуктом и может быть использована любыми группами исследователей как в автономном режиме, так и в режиме зеркалирования. Прообразом создаваемой ИВС является существующая информационная система "Атмосферная радиация над Сибирью" (<http://sibrad.iao.ru>).

Работа выполняется при финансовой поддержке гранта РФФИ №04-07-90123, школы С.Д. Творогова (НШ-373.2003.5).

Расчетный метод оценки составляющих радиационного и теплового баланса земной поверхности для использования в моделях климата

Волошин В.Г. (voloshin.vg@ua.fm)

Одесский национальный университет им. И.И. Мечникова, Одесса, Украина

Волошина Ж.В.

Одесский государственный экологический университет, Одесса, Украина

Повышение приземной температуры ведет к изменению метеорологического режима приземного слоя атмосферы (ПС), т.е. к изменениям радиационного (РБП) и теплового балансов (ТБП) поверхности.

Прямых измерений составляющих РБП и ТБП поверхности крайне мало. Поэтому единственным надежным способом получения массовой информации об изменениях РБП и ТБП на границе "поверхность-атмосфера" является расчетный метод, который использует те или иные математические модели. На современном этапе развития науки можно предложить новые численные решения, использующие возможности вычислительной техники.

Два вопроса возникают при постановке задачи оперативного расчета составляющих ТБП. Первый связан с выбором подходящего алгоритма "замыкания" уравнения теплового баланса (УТБ), а второй – с доступностью информации, необходимой для настройки и эксплуатации модели.

В работе предложен оригинальный метод косвенных расчетов составляющих УТБ ($Q_N + E_a = H + LE + E_s + B$) для различных типов поверхности и различных ландшафтных зон [1].

Все составляющие УТБ описаны с помощью математических моделей, которые прошли апробацию в ряде численных схем. Для решения системы уравнений, ядром которой является закон сохранения энергии, используются только данные метеорологических наблюдений и характеристики поверхности. Стратификация ПС (параметр ζ) и коэффициенты массо-тепло-влажноперевода (C_u, C_T, C_E) определяются при решении системы уравнений в целом.

Система уравнений содержит два неизвестных параметра. Первый – это температура подстилающей поверхности T_s , входящая в модель оценки длинноволнового излучения поверхности E_s и в модели для тепловых потоков B , H , LE , и второй – параметр устойчивости (ζ), характеризующий степень турбулентного обмена. Решение УТБ возможно только при параметризации радиационных потоков Q_N и E_a и постановки граничных условий для влажности на поверхности.

При численном решении используется метод итераций по $T_s \leftrightarrow \zeta$ и по $T_s \leftrightarrow u$. На каждом шаге находятся значения температуры поверхности T_s и параметра устойчивости ζ и проверяются условие "замыкания" УТБ и баланса кинетической энергии турбулентности. Расчет T_s выполняется только после оценки приповерхностного скачка температуры и влажности. Точность оценки составляющих баланса зависит от достоверности параметризации взаимосвязей, определяющих ТБП.

Влагосодержание верхнего слоя почвы (0–20 см) задается однослойной балансовой моделью. Величина безразмерного сопротивления потоку влаги в почве, необходимого для определения испарения, вычисляется по фактическому напряжению почвенной влаги. Для определения потока тепла в почву используется решение уравнения теплопроводности, которое связывает поток тепла в почву со значением T_s и рассчитываемыми величинами РБП.

Представленная схема параметризации температурно-стратифицированного приземного слоя позволяет оценить все радиационные и турбулентные потоки. Достоверность схемы и точность расчета проверена на независимом материале теплорасчетных наблюдений. На основе этого метода выполнены расчеты РБ и ТБ поверхности по 4-х срочным метеонаблюдениям м/с Одесса и Болград (1980–2000 гг, июнь и декабрь) и получены статистические показатели изменения РБП. Рассчитывались суточные и

месячные суммы значений приходной ($Q_N + E_a$) и расходной (E_s) части РБП. Полученные результаты сравнивались с актинометрическими измерениями м/с Одесса за этот же период. Найдены многолетние изменения составляющих радиационного баланса, которые можно объяснить только наблюдающимися изменениями климата.

1. Волошин В.Г. Метод расчета турбулентных потоков и температуры подстилающей поверхности на основе метеорологических наблюдений. Метеорология, климатология и гидрология, 2002, 46, с.83-90.

Пространственная неоднородность оптических свойств облаков и ее влияние на распределение радиационных параметров атмосферы и подстилающей поверхности

Шатунова М.В., Дмитриева-Аппаго Л.Р. (dmitrieva@rhmc.mecom.ru)

Научно-исследовательский гидрометеорологический центр России, Б.-Предтеченский 9-13, 123242 Москва, Россия

Оптические свойства облаков определяются их микрофизической структурой, включая водность, распределение частиц облаков по размерам, средние радиусы, фазовое состояние. Существуют различия этих характеристик в зависимости от причины образования облаков и условий существования. Характер подстилающей поверхности, суша или океан, формируют спектр и размеры частиц в облаках. В холодных кристаллических облаках размеры частиц на порядок больше, чем в теплых капельных. При одной и той же водности эти облака имеют разные микрофизические и оптические свойства.

Описание эволюции микрофизических процессов производится с помощью модели преобразования влаги, включающей микрофизический алгоритм. Для дифференциации облачности по исходным микрофизическим параметрам для проведения численных экспериментов, задано начальное распределение средних радиусов и начальной водности по полушарию. По результатам модели преобразования влаги с помощью алгоритма расчета радиационных характеристик облачной атмосферы, рассчитывается эволюция оптических свойств облаков.

Алгоритм содержит методы расчета коэффициентов ослабления и поглощения солнечного излучения облаками на основе приближенных формул теории Ми. В результате расчетов получено распределение радиационного баланса на границах атмосферы с учетом микрофизических особенностей облаков. Выполнены оценки диапазона изменения оптических свойств облаков в условиях эксперимента.

Радиационные потоки в экспериментах с различными версиями модели общей циркуляции атмосферы ГГО

Спорышев П.В. (pvs@main.mgo.rssi.ru), Мелешко В.П., Матюгин В.А.

Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

В докладе оценивается качество модельного воспроизведения радиационных потоков на верхней границе атмосферы и на поверхности в экспериментах с различными версиями атмосферной модели ГГО.

В частности, анализируются результаты экспериментов, выполненных в соответствии с условиями международного сравнения моделей общей циркуляции атмосферы (ОЦА) AMIP2. Эти эксперименты выполнялись с двумя версиями модели ОЦА ГГО различного вертикального разрешения (14 и 25 уровней). Мы исследуем влияние увеличения вертикального разрешения модели на структуру облачности и радиационных потоков. Для сравнения используются радиационные потоки, полученные в моделях, участвовавших в проекте AMIP2. Основой для определения величин модельных ошибок являются данные спутниковых измерений радиационных потоков на верхней границе атмосферы (ERBE) и на поверхности (SRB).

Кроме того, рассматриваются результаты длительных экспериментов (50 лет интегрирования) по модельному воспроизведению климата второй половины XX-го столетия. Здесь основное внимание уделяется модельному воспроизведению изменений в поле уходящей длинноволновой радиации на верхней границе атмосферы, которые связаны с глобальными климатическими изменениями наблюдавшимися во второй половине XX-го столетия.

Радиационный форсинг, потенциал глобального потепления и индекс глобального потепления при прогнозируемом изменении содержания парниковых газов в атмосфере 21-го века

Фролькис В.А. (VFrolkis@vf13868.spb.edu), Киселев А.А.

Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

Радиационный форсинг (RF), абсолютный потенциал глобального потепления (AGWP), потенциал глобального потепления (GWP), абсолютный индекс глобального потепления (AGWC) и индекс глобального потепления (GWC) являются удобными и наглядными характеристиками, показывающими влияние антропогенных выбросов на радиационный и, следовательно, термический режим климатической системы Земли. Рассматривается мгновенный и приспособленный, прямой и непрямой, кумулятивный и индивидуальный радиационный форсинг. Первые четыре понятия – общепринятые, что касается двух последних, то кумулятивный форсинг по сути является традиционным, но обозначается так, чтобы противопоставить ему индивидуальный форсинг, который вводится для оценки влияния на RF нарушения химического равновесия в атмосфере.

Обсуждаются методы вычисления GWP и GWC и анализируется чувствительность GWP и GWC к объему выброса, фоновым концентрациям малых газовых составляющих атмосферы, а также к выбросу и концентрации эталонного газа. Приводятся оценки AGWP, GWP, AGWC и GWC, полученные на основе различных способов вычисления RF и базирующиеся на предполагаемых в 21-м веке сценариях A1, A2, B1, B2 выбросов антропогенных газов, приведенных в IPCC-2001.

Моделирование изменения химического состава атмосферы и соответствующего RF осуществляется на основе радиационно-фотохимической модели, в которой используется широкополосная модель переноса радиации и учитывается 141 газоплазменная реакция для 44 компонент атмосферного воздуха.

Показано, что удельные значения RF, AGWP, GWP, AGWC и GWC зависят от массы выброса антропогенного газа (и во многих случаях эта зависимость существенно нелинейная), а также от уровня фоновой концентрации малых газовых составляющих. Приведенные значения AGWP, GWP основных парниковых газов указывают на то, что имеет смысл рассматривать их интервальные, а не точечные, оценки, так как удельные значения AGWP и GWP зависят от объемов выброса исследуемого и эталонного газа. Вычисленные значения AGWC и GWC дают оценки возможных радиационных нагрузок на климатическую систему Земли, обусловленных антропогенным загрязнением атмосферы, и позволяют ранжировать прогнозируемые выбросы малых газовых составляющих. На основе индивидуального RF даны оценки антипарникового эффекта, связанного с предполагаемым уменьшением выбросов озоноразрушающих фреонов.

Колебания солнечной активности – основной климатообразующий фактор в масштабе тысячелетия

Хорозов С.В., Будовый В.И., Медведев В.А., Белоголов В.С. (hsoft@baltnet.ru)
ООО "Фирма Hsoft", Мореходная 3, 236000 Калининград, Россия

Обосновывается гипотеза существования физического механизма, посредством которого изменение солнечной активности приводит к изменению "парникового эффекта". Для проверки гипотезы произведено тепло-балансовое физико-статистическое моделирование глобальной температуры и температур в различных регионах северного полушария.

Построенные модели позволяют объяснить (без привлечения антропогенного фактора) современное глобальное потепление, а также известные данные о колебаниях температуры во втором тысячелетии. Сравнительный анализ результатов моделирования с независимо реконструированными региональными температурами, в том числе, Центральной Англии (1000–1658 гг.), г. Пекина (1000–1840 гг.), о. Баффин (Аляска) (1000–1942 гг.), показывает их достаточно хорошее соответствие, что позволяет предположить, что колебания солнечной активности действительно могут являться основным климатообразующим фактором в масштабе тысячелетия.

Кроме того, выявлена тесная связь между скоростью роста концентрации углекислого газа и моделируемой температурой верхнего слоя океана за последние четыре столетия (коэффициент корреляции – 0.8). Это дает основание предполагать, что рост концентрации углекислого газа является, в большей мере, не причиной, а следствием глобального потепления.

Результаты моделирования климата на основе вероятного сценария развития солнечной активности, показывают, что в ближайшие десятилетия глобальное потепление может смениться глобальным похолоданием. При этом прирост концентрации углекислого газа, в ближайшее столетие сохранится, но скорость его уменьшится.

Нейросетевое прогнозирование динамики озонового слоя

Сакаш И.Ю., Ланкин Ю.П. (lan7@mail333.com)

*Институт биофизики СО РАН, Сибирский государственный технологический университет, Академгородок,
660036 Красноярск, Россия*

Спутниковое зондирование атмосферы является эффективным методом получения информации о различных протекающих в ней процессах. В настоящее время оно имеет большое значение для изучения динамики озонового слоя, оказывающего существенное влияние как на состояние живых организмов нашей планеты, так и на метеорологические характеристики атмосферы. Очевидно, что повышение качества метеорологических прогнозов, увеличение их длительности, требует учета и прогноза большого числа параметров, включая и характеристики озоносферы Земли. Подобные прогнозы могут выполняться при наличии эффективных моделей. В нашей работе для этих целей успешно использованы нейронные сети. Имеются также работы, демонстрирующие успешное применение нейросетей для решения метеорологических задач.

Заметим, что моделирование атмосферных процессов является в настоящее время развитой областью научных исследований. В то же время сложность объекта (атмосферы Земли, характеризуемой нелинейностью, динамичностью, массовостью, взаимозависимостью протекающих в ней процессов) порождает множество серьезных проблем, не поддающихся или плохо поддающихся решению традиционными методами моделирования. В публикациях, посвященных этой важной области науки, все чаще встречаются упоминания нейронных сетей, на которые возлагаются большие надежды в разрешении существующих

трудностей. Самостоятельные же модели озонового слоя Земли на сегодня практически отсутствуют.

В описываемом цикле работ выполнен большой объем исследований, направленных на изучение динамики озонового слоя Земли и построение его моделей. Проводимая работа имеет большое значение в контексте нестабильности экологической ситуации на планете, включающей и повышенную неустойчивость атмосферных процессов. Одним из аспектов, привлечших внимание научной общественности, явилась проблема "озоновых дыр", оказывающих влияние на климатические характеристики нашей планеты и угрожающих живым организмам, включая и человека. Необходимо отметить, что под озоновыми дырами принято понимать понижение общего содержания озона (ОСО) в стратосферно-тропосферном слое. В частности, регулярно наблюдаемая "озоновая дыра" существует над Антарктидой.

Выполненные на данном этапе исследования ориентированы на разработку методов моделирования и построение прогнозных моделей динамики озоносферы на различных временных интервалах для отдельных географических точек над земной поверхностью. Моделирование выполнялось на основе данных лидарных станций и материалов спутникового зондирования озонового слоя. Помимо разработки прогностических моделей исследована возможность выявления предвестников резких изменений свойств временных рядов общего содержания озона в озоносфере на предмет возможности заблаговременного обнаружения возникающих "озоновых дыр". Исследования не дали однозначного результата. В то же время нейронные сети демонстрировали достаточно высокое качество прогноза на таких участках, что все же позволяет говорить о наличии таких предвестников. Наряду с другими результатами, сохранение прогностических свойств нейросетевых моделей на сложных "участках" позволило сделать вывод о квазистационарности свойств озонового слоя.

Проведенные исследования показали высокую эффективность применения нейронных сетей и предложенных методов для построения прогнозных моделей озонового слоя и позволяют перейти к двумерным пространственным моделям озоносферы Земли как для отдельных регионов, так и всей планеты в целом. Нейронные сети являются гибким и мощным адаптивным инструментом, позволяющим решать широчайший круг задач в рамках единой методологии. Одним из их преимуществ является возможность доучивания на вновь поступающих данных, что весьма важно с учетом повышенной нестабильности атмосферных процессов в условиях развивающегося планетарного экологического кризиса. Таким образом, можно также надеяться успешно перенести полученный опыт на построение метеорологических прогнозов в силу универсальности использованного математического аппарата.

СЕКЦИЯ 8. АППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ РАДИАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРЫ И ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ И ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

Председатель: к.ф.-м.н. **В.В. Иванов** (ФИ РАН, Москва)

Сопредседатели: к.ф.-м.н. **Е.И. Гречко** (ИФА РАН, Москва), проф. **Н.Ф. Еланский** (ИФА РАН, Москва), проф. **Ю.А. Скляр** (СГУ, Саратов), к.ф.-м.н. **В.Ф. Радионов** (ААНИИ, Санкт-Петербург)

Поляриметры миллиметрового диапазона для диагностики фазовой структуры и микрофизических параметров облаков

Троицкий А.В., Востоков А.В., Сырейщиков В.П.

Научно-исследовательский радиофизический институт, Б. Печерская 25, 603950 Нижний Новгород, Россия

Задачи диагностики фазовой структуры облаков в микроволновом диапазоне требуют разработки и создания поляриметров – поляризационных радиометров с одновременным измерением вертикальной, горизонтальной и разностной поляризации в реальном времени. Основные технические требования к таким приборам – высокая чувствительность, стабильность, широкий динамический диапазон, помехоустойчивость, возможность автономного питания.

В НИРФИ разработано и изготовлено новое поколение поляриметрических радиометров супергетеродинного типа на длины волн 8 и 3 мм. Поляриметры выполнены в твёрдотельном исполнении со смесителями Шоттки на входе. Суммарная полоса приёма по прямому и зеркальному каналу 4 ГГц. Разделение поляризаций в радиометрах осуществляется с помощью переключателя поляризации, основанного на эффекте Фарадея (вращение плоскости поляризации электромагнитной волны в магнитном поле). Это позволяет осуществить одновременное измерение первых трёх параметров Стокса (I , Q , U) микроволнового излучения атмосферы. Суть методики полиметрических измерений состоит в следующем. Устанавливая поочерёдно четыре значения магнитного поля в специальном устройстве (переключателе поляризации), заполненном ферромагнетиком (частота переключения магнитного поля порядка 300 Гц), мы осуществляем приём излучения атмосферы на углах 0 и 90 градусов, а также 45 и 135 градусов (ориентация вектора электрического поля волны отсчитывается от линии горизонта). Синхронная фильтрация и детектирование осуществляются также поочерёдно на каждом угле. Полусумма первых двух измерений есть первый параметр Стокса, а их разность – второй. Разность двух вторых измерений – третий параметр Стокса. Формирование полусуммы (I) и разностей (Q и U) осуществляется в цифровом виде на ПК. Развязка между каналами не менее 20 дБ. Модуляция сигнала сделана асимметричной по отношению к времени накопления опорного сигнала – каждая из поляризаций и опорный сигнал принимаются 1/3 периода. Это позволило на 17% увеличить полезное время наблюдения сигнала, а, следовательно, и чувствительность поляриметров по сравнению с обычными схемами поляризационных радиометров [1]. Применены малошумящие УПЧ с шумовой температурой ~ 800 К. Для повышения стабильности радиометров использована прецизионная аналоговая система термостабилизации. Для унификации напряжений питания разработана схема импульсного преобразователя, что позволяет иметь единое общее питание (возможно автономное) + 12 В.

Совокупность всех этих технических решений позволила реализовать чувствительность поляриметров 0.050 К на длине волны 8 мм и 0.10 К на длине волны 3 мм при постоянной времени интегрирования 1 сек, что примерно в 3–4 раза выше, чем у обычных образцов раннее используемых поляриметров. Если учесть, что в натурных экспериментах время интегрирования сигнала обычно составляет примерно 20–30 сек, то разработанные

поляриметры позволяют измерять поляризационные контрасты величиной в несколько сотых градуса.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 03-02-16694).

1. Абрамов В.И., Беликович В.В., Белов И.Ф. и др. Радиотелескоп для поляризационных измерений галактического радиоизлучения в диапазоне 30 см. Препринт НИРФИ № 217. Горький, 1986.

Результаты разработки и испытаний нового пиранометра для актинометрической сети

Луцко Л.В. (lutsko@main.mgo.rssi.ru), Бычкова А.П., Клеванцова В.А, Павлов А.В.,
Соколенко С.А.

Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

В 2003 г. специалистами ГГО и ОАО "Пеленг" (Республика Беларусь, г. Минск) под научно-техническим руководством ГГО разработан пиранометр "Пеленг СФ-06".

Пиранометр "Пеленг СФ-06" состоит из головки пиранометра и электронного измерительного блока. Головка пиранометра "Пеленг СФ-06", являясь модернизированной модификацией головки пиранометра М-115М, используемой на сети актинометрических пунктов наблюдений до настоящего времени, имеет идентичные выходные параметры и размеры, благодаря чему возможна установка ее на имеющихся на станциях стационарных стойках и переносных штативах, подключение к ранее использовавшимся измерительным приборам и к внедряемым автоматизированным станциям. Проверка метрологических характеристик прибора показывает, что однородность накопленных рядов наблюдений не нарушится.

Электронный измерительный блок, имеющий выход на ПЭВМ, помимо автоматизации измерений, позволит решить вопрос замены морально устаревших и снятых с производства стрелочных гальванометров, аналоговых самопишущих приборов и электролитических интеграторов.

В 2003 г. пиранометр "Пеленг СФ-06" прошел в Госстандарте России испытания для целей утверждения типа, занесен в Государственный реестр средств измерений, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. ГУ ГГО и ОАО "Пеленг" получили сертификаты Госстандарта. Методическая комиссия ГУ ГГО и ЦКПМ Росгидромета рекомендовали пиранометр к внедрению на сеть.

Эксплуатационные испытания пиранометра проводятся с 2003 г. в пос. Воейково.

О возможности коррекции измерений рассеянной радиации

Свириденков М.А. (misv@mail.ru), Аникин П.П.

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер 3, 119017 Москва, Россия

Журавлева Т.Б. (ztb@iao.ru)

Институт оптики атмосферы СО РАН, пр. Академический 1, 634055 Томск, Россия

При измерениях потоков приходящей солнечной радиации существует проблема неидеальности косинусной характеристики приемника. Предварительная лабораторная калибровка отклика приемника как функции азимутального и зенитного углов с использованием искусственного источника излучения позволяет решить эту проблему при измерении потоков прямого солнечного излучения. Для рассеянного излучения угловое распределение интенсивности приходящей радиации *a priori* неизвестно, и возможность коррекции косинусной характеристики приемника проблематична. В [1] ошибки, возникающие вследствие отличия косинусной характеристики радиометров от Ламбертовской, оценивались с использованием простейших моделей поля яркости неба.

В докладе приводятся результаты анализа ошибок при измерении потоков, выполненного с использованием моделей полей яркости неба адекватных реализующимся в

земной атмосфере, и рассматривается возможность их учета. Расчеты проводились для прибора MFRSR (Multi-Filter Rotated Shadowband Radiometer). MFRSR измеряет спектральные потоки глобальной и рассеянной солнечной радиации, приходящие на горизонтальную площадку. Их разность дает поток прямого солнечного излучения. Для каждого прибора измерены зависимости чувствительности приемника от зенитного и азимутального угла приходящего излучения, что позволяет исправить результаты измерений прямого солнечного излучения, используемые для определения аэрозольной оптической толщины.

Для оценки ошибок измерений диффузной радиации использовались результаты численного моделирования. Расчеты яркости неба проводились методом Монте-Карло (метод локальной оценки) в приближении плоско-параллельной аэрозольно-молекулярной атмосферы и однородной подстилающей поверхности, отражающей излучение по закону Ламберта. Чувствительность приемников к состоянию поляризации падающего излучения на данном этапе не учитывалась. Карта яркости неба рассчитывалась для 84 азимутальных углов с шагом в 1 градус по зенитному углу. В качестве моделей микроструктуры аэрозоля были выбраны различные обратностепенные и логнормальные распределения частиц по размерам. Средние косинусы индикатрисы рассеяния излучения варьировали в диапазоне 0.53–0.75. Для моделирования отклика MFRSR яркость неба для каждого зенитного и азимутального угла умножалась на корректирующий фактор, значение которого выбиралось из таблицы, прилагающейся к прибору. Затем "реальная" и "измеренная" яркости неба интегрировались по полусфере, и отношение интегралов рассматривалось как корректирующий фактор для рассеянного излучения.

Из результатов расчетов следует, что "измеренный" MFRSR поток на 2–4% меньше рассчитанного. Отношение R "истинного" к "измеренному" потоку достаточно слабо зависит от зенитного и азимутального углов Солнца, среднего косинуса индикатрисы рассеяния, длины волны, альбедо поверхности и аэрозольной оптической толщины. Наблюдается тенденция к уменьшению R с ростом оптической толщины. Максимум R как функции зенитного угла Солнца достигается примерно в области 60° – 70° . Анализ расчетов показывает, что результаты измерений рассеянной радиации могут быть исправлены с точностью примерно 1% с использованием корректирующих коэффициентов, соответствующих конкретному прибору.

Одновременное измерение потоков прямого и рассеянного излучения в условиях безоблачного неба позволяет оценить альбедо однократного рассеяния аэрозоля SSA. В докладе приведены оценки ошибок определения SSA по отношению потоков прямого и рассеянного излучения, возникающих вследствие неидеальности косинусной характеристики приемника.

Работа выполнена при частичной поддержке программы Atmospheric Radiation Measurement (контракт 5012) и Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект 04-05-64579).

1. Kiedron P.W. and J. Michalsky. Measurement errors in diffuse irradiance with non-Lambertian radiometers. *Int. J. Remote Sensing*, 2003, **24**, 2, 237-247.

Об организации наблюдений радиационно-значимых характеристик атмосферы в азиатской части России

Сакерин С.М. (sms@iao.ru), Кабанов Д.М., Панченко М.В., Фазлиев А.З.

Институт оптики атмосферы СО РАН, Академический 1, 634055 Томск, Россия

Актуальность исследований изменений климата определила необходимость организации в Сибири регулярных измерений радиационно-значимых характеристик атмосферы и создания баз данных. В докладе обсуждается концепция и первые результаты создания автоматизированной системы мониторинга с использованием российских и зарубежных приборов. В состав информационно-измерительной системы входят следующие компоненты.

1. Автоматизированная сеть российских солнечных фотометров SP-6, разработанных в ИОА СО РАН. Наблюдательные пункты 1 очереди – Томск, Монды, Ханты-Мансийск, Улан-Удэ.
2. Автоматизированные Sun-Sky радиометры CE 318 глобальной аэрозольной сети AERONET, внедрение которых на территории России осуществляется в рамках Соглашения с GSFC/NASA (США). Наблюдательные пункты 1 очереди – Томск, Торы, Якутск, Екатеринбург, Уссурийск.
3. Радиационный комплекс в Томске в составе пиргелиометра MS-53, пиранометра MS-802, пиргеометра MS-202 (все производства ЕКО, Япония) и спектропиранометра с теньевым экраном MFR-7 (производства YES, США).
4. Информационная система обработки данных (в ИОА СО РАН) с Интернет-доступной базой данных (<http://sibrad.iao.ru>).

Фотометры и информационные возможности AERONET (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov>) хорошо известны, поэтому основное внимание уделено описанию автоматизированной сети фотометров SP-6, работающих как система "датчиков" с удаленным (Интернет) доступом. SP-6 представляет из себя фильтровый трехканальный фотометр с автоматической следящей системой и встроенным микроконтроллером. Измерения прямой солнечной радиации осуществляются в 18 участках, в диапазоне спектра 0.308–4 мкм, время единичного цикла измерений не более 1 мин. Средства автоматизации обеспечивают выполнение следующих функций:

- а) определение ситуаций "безоблачного Солнца" и наведение фотометра на Солнце;
- б) измерение – накопление сигналов спектральной прозрачности атмосферы;
- в) в ночное время и в ситуациях облачности – перевод фотометра в дежурное положение ("парковка");
- г) самодиагностику фотометра – периодическое измерение шумов ФПУ, температуры термостата, напряжений питания и др.;
- е) регулярное измерение метеопараметров – температуры, давления, влажности.

В состав программно-алгоритмического обеспечения входят следующие компоненты.

1. Пакет программ для управления автоматизированной работой, передачи данных в общий центр сбора – обработки и синхронизации времени фотометров с GMT.
2. Программное обеспечение для обработки данных в составе следующих алгоритмов:
 - расчета полосовых функции пропускания газов и их параметризации с использованием современной спектроскопической информации (HITRAN и др.);
 - автоматической фильтрации сигналов и расчета физических характеристик;
 - автоматической диагностики фотометров, диспетчеризация работы.
3. Программа представления данных в Интернете в виде html и xml документов.
4. База данных (БД) физических характеристик и служебной информации в составе:
 - паспортов фотометров SP-6 (адреса станций, калибровочные константы и др.);
 - измеренных (исходных) сигналов спектральной прозрачности атмосферы;
 - диагностических данных и метеопараметров в точке наблюдений;
 - аэрозольной оптической толщи атмосферы в спектральном диапазоне 0.3–4 мкм;
 - общего содержания водяного пара и озона;
 - архивных данных солнечных фотометров;
 - данных по всем компонентам приходящей радиации (Томск).

Сравнение с радиометром CE 318 показывает, что SP-6 имеет преимущества по следующим характеристикам: (а) более широкий спектральный диапазон; (б) возможность определения содержания озона; (в) сопровождение наблюдений метеоданными; (г) лучшая защищенность от колебаний окружающей температуры; (д) исключение ложной работы в ситуациях облачности. Система AERONET, благодаря применению хорошо отработанных алгоритмов решения обратных задач, выигрывает по числу восстанавливаемых аэрозольных характеристик. Поэтому важной задачей следующего этапа (кроме расширения сети)

является повышение информативности мониторинга на основе разработки "автоматизированных" алгоритмов обращения оптических данных.

Работа выполняется при финансовой поддержке проектов программ фундаментальных исследований Президиума РАН, Приборной комиссии СО РАН и контракта с Югорским НИИ ИТ.

Система мониторинга оптического излучения солнца с помощью многоканального фотометра

Смертенко П.С. (eureka@irva.kiev.ua), Кушнеров И.Д., Манойлов Э.П.
Институт физики полупроводников, НАН Украины, пр. Науки 45, 03028 Киев, Украина

Марьенко А.В., Круглов В.В., Столяренко Р.Д.
ВАТ МЕРИДИАН им. С.П. Королева, бульвар И. Лепсе 8, Киев, Украина

Белявский А.В.
УкрНИИГМИ Госкомгидромета Украины, пр. Науки 37, 03028 Киев, Украина

Контроль энергетической освещенности и дозы в широком спектральном диапазоне от ультрафиолетового до ближнего инфракрасного, включая видимое оптическое излучение, имеет практическое значение не только для оценки отдельно воздействия ультрафиолетовой, фотосинтетической и тепловой составляющих излучения, но и для оценки комплексного воздействия оптического излучения на биологические объекты и окружающее пространство.

Для такого контроля были разработаны и изготовлены приборы ФЭО-М (малогабаритный одноканальный) и ФЭО-П (многоканальный), имеющие чувствительность в ближнем ультрафиолетовом, видимом и ближнем инфракрасном диапазонах, портативные и дешевые. Создание таких приборов очень важно, в частности, для первой в Киеве научно-исследовательской станции солнечного УФ мониторинга, которая должна стать базовой для региональной сети атмосферного мониторинга в городе Киеве. Последняя система, в свою очередь станет составляющей частью национальной системы экологического мониторинга в Украине.

Для системы мониторинга оптического излучения солнца с помощью многоканального фотометра была разработана программа EMMStation, которая позволяет собирать, сберегать и обрабатывать данные как от фотометра ФЭО-М, так и от фотометра ФЭО-П. Программа EMMStation состоит из компоненты взаимодействия с ФЭО-М/ФЭО-П (сбор данных и управление), компоненты поддержки базы данных, компоненты генерации и формирования очереди сигнальных сообщений, почтового агента для отправки сигнальных сообщений через SMTP почтовый сервер и мастера настройки почтового агента и параметров рассылки. Программа EMMStation позволяет контролировать и собирать данные с ФЭО-М/ФЭО-П, накапливать результаты измерений в базе данных с возможностью их графической визуализации по каждому из выбранных пользователем измерительных каналов и в выбранном диапазоне времени, экспортировать результаты измерений из базы данных в текстовые файлы и импортировать из текстового файла в базу данных, проводить контроль целостности и очистку (обновление) базы данных, контролировать генерацию и формирование сигнальных сообщений с последующей их отправкой через SMTP почтовый сервер по заданным пользователем адресам. При создании приборов для системы мониторинга ФЭО-М и ФЭО-П был реализован системный подход, в основу которого положена идея создания унифицированных селективных фотодатчиков, которые обеспечивают измерение в различных областях спектра (типы А, В, С, АВ, V, IR1, IR2).

Информационная система "Атмосферная радиация над Сибирью"

Козодоева Е.М. (klen@iao.ru), Кабанов Д.М., Сакерин С.М., Фазлиев А.З.
Институт оптики атмосферы СО РАН, пр. Академический 1, 634055 Томск, Россия

В данной работе представлен сайт, содержащий информационные ресурсы, создаваемые в рамках информационно-измерительной системы, обеспечивающей

автоматическое функционирование региональной сети солнечных фотометров. Структурными компонентами сети являются аппаратная часть, программное и информационное обеспечение [1]. В состав аппаратуры входят: а) солнечные фотометры типа SP-6 и SP-7 в различных районах Сибири; б) автоматизированный радиационный комплекс в Томске для измерения компонент приходящей радиации.

В структуру сайта (<http://sibrad.iao.ru>) входят архивные данные об измерениях оптической толщи, влагосодержания и содержания озона в атмосфере, проведенных сотрудниками ИОА СО РАН. Промежуточное программное обеспечение, на основе которого создан сайт, описано в работе [2]. Использование стандарта XML [3] дало технологическую основу для построения сложной информационной структуры для обслуживания сети региональной сети фотометров. Базы данных создаваемой информационной системы будут содержать данные сибирского сегмента сети AeroNet и данные радиационных измерений, проведенных в ИОА СО РАН. Пользователи сайта разбиты на группы, которым доступны разные категории ресурсов. Для пользователей с минимальными правами доступен архив данных, содержащий результаты измерений оптической толщи атмосферы и влагосодержания, проведенных в Томске и на полигоне вблизи п. Киреевск (Томская область) за последние более чем 10 лет. Измерения проводились фрагментарно и в разных диапазонах длин волн. В начале девяностых измерения проводились только летом и всего на нескольких длинах волн. После 2000 года измерения стали более регулярными, увеличилось число измерений на разных длинах волн излучения. Наличие данных измерений можно определить по диаграмме темпоральных данных. На ней же можно выбрать диапазоны длин волн и период времени наиболее подходящий для исследователя. В рамках заданного интервала времени доступно построение временной изменчивости оптической толщи атмосферы, ее спектральной зависимости от длины волны излучения и параметра Ангстрема. Другими значимыми физическими характеристиками, имеющимися в архиве данных, являются влагосодержание и общее содержание озона. В архив данных включены результаты измерений, проведенных во время экспедиций в Атлантику за последние 15 лет.

Работа с данными на низком уровне требует административных прав доступа. Можно выделить два типа администраторов. Одни работают с данными измерений, и для них создан раздел базы данных, в рамках которого доступны исходные сигналы, по которым вычислены физические характеристики атмосферы, а также паспорта устройств. Вторая группа администраторов занимается поддержкой информационной системы, основой которой является ядро промежуточного программного обеспечения (ППО). Созданное на основе Интернет-технологии ППО позволяет администрировать разные части коллекции данных администраторам, находящимся в разных географических точках.

Технические характеристики входящих в радиационный комплекс приборов и фотометров, использованных при измерениях, описаны в разделе "Сеть мониторинга". Подготавливается библиография работ, выполненных в ИОА СО РАН при исследовании радиационно-значимых характеристик атмосферы.

Авторы благодарны РФФИ за финансовую поддержку работы (грант 04-07-90139).

1. Сакерин С.М., Фазлиев А.З. Концепция автоматизированной сети мониторинга радиационно-значимых компонент атмосферы с базой данных. Тезисы докладов II Международной конференции "Окружающая среда и экология Сибири, Дальнего Востока и Арктики", 27-31 октября 2003 г., Томск, **1**, 103-104.
2. Ахлестин А.Ю., Гордов Е.П., ДеРуддер А., Крутиков В.А., Лыкосов В.Н., Михалев А.В., Фазлиев А.З., Федра К. Интернет портал о свойствах атмосферы. Структура и технологии. Труды Всероссийской конференции "Математические и информационные технологии в энергетике, экономике и экологии", ч.2, Иркутск, 2003, 247-254.
3. Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Third Edition), W3C Proposed Edited Recommendation, <http://www.w3.org/TR/2003/PER-xml-20031030>
4. Kozodoeva E.M., Lavrent'ev N.A., Fazliev A.Z., Shmargunov V.P., Online internet representation for XML data of the routine measurements. Abstracts of X Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, June 24-28, 2003, p. 62.

Новый мобильный микроволновый озонметр для средней атмосферы

Красильников А.А. (alakras@appl.sci-nnov.ru), Куликов Ю.Ю., Рыскин В.Г., Щитов А.М., Шанин В.М.

Институт прикладной физики РАН, Ульянова 46, 603950 Нижний Новгород, Россия

Микроволновые измерения являются в настоящее время одним из самых доступных и перспективных методов исследования земной атмосферы. Например, с помощью спектральных приемников в миллиметровом диапазоне успешно проводятся измерения с поверхности Земли малых газовых составляющих средней атмосферы.

Для исследования стратосферного озона в ИПФ РАН создан спектральный радиометрический приемник – микроволновой озонметр. Этот прибор настроен на частоту вращательного спектра излучения озона в диапазоне 110.8 ГГц. Полоса анализа озонметра и его частотное разрешение позволяют регистрировать тепловой сигнал атмосферы, связанный с озоном, который располагается на высотах от 20 до 60 км. Далее, используя полученный спектр, можно вычислить распределение содержания озона по высоте.

Конструктивно озонметр выполнен на основе супергетеродинного радиометра со смесителем на входе. Смеситель изготовлен на диоде с барьером Шоттки и работает на второй гармонике гетеродина. Гетеродин – транзисторный, частота его сигнала стабилизирована системой фазовой автоподстройки по кварцевому опорному сигналу. Установленный на входе смесителя заградительный волноводный фильтр обеспечивает однополосный режим приема. Диаграмма направленности радиометра задается коническим рупором и равна около 4°.

Перед рупором установлен квазиоптический переключатель диаграммы направленности. Управление переключателем производится персональным компьютером, который обеспечивает также калибровку озонметра, методику измерений, а также сбор и обработку данных.

Шумовая температура радиометра составляет ~ 2500 К в однополосном режиме. Усилитель первой промежуточной частоты 1.6 ГГц имеет шумовую температуру ~ 50 К. 32-канальный анализатор спектра располагается на второй промежуточной частоте 260 МГц и имеет полную ширину 240 МГц, а его частотное разрешение составляет 1 МГц в центре полосы анализа и до 10 МГц на краях.

Анализатор спектра, модуль управления озонметром, а также блок питания смонтированы в стандартном корпусе системного блока персонального компьютера.

Применение транзисторного гетеродина и волноводов основного сечения во входном тракте позволило изготовить приемный модуль озонметра с относительно небольшими внешними размерами. Приемный модуль озонметра помещен в термостат размером 500х225х125 мм³, а его общий вес составляет около 10 кг.

Малые габариты озонметра делают его достаточно удобным для перемещений. Это позволяет перевозить и устанавливать прибор в различных географических регионах, включая труднодоступные полярные области, и проводить мониторинг стратосферного озона.

Наблюдения атмосферных линий во время частного солнечного затмения 31 мая 2003 года

Горбанев Ю.М. (skydust@tm.odessa.ua), Голубаев А.В., Стогнеева И.А., Шестопалов В.А.

АО Одесский национальный университет, парк им. Т.Г. Шевченко 10, Одесса, Украина

Представлены результаты наблюдений свечения атмосферных линий натрия, азота и кислорода во время частного солнечного затмения утром 31 мая 2003 года. Для наблюдений использовался дифракционный спектрограф дневного и сумеречного неба. В качестве

диспергирующего элемента использовалась дифракционная решетка 400 штрихов\мм, приемник излучения – ПЗС-камера. Описана аппаратура, методика наблюдений и обработки.

Для каждой атмосферной линии натрия, азота и кислорода во время затмения получены зависимости интенсивности излучения линий от времени. Обнаружено несовпадение момента времени максимальной фазы частного затмения и моментов соответствующих минимумов для зависимостей интенсивности излучения линий. Приводится интерпретация полученных результатов.

Методики градуировки авиационной тепловизионной аппаратуры для дистанционного зондирования подстилающей поверхности

Хохлов Д.А. (khda@inbox.ru)

ВНЦ ГОИ им. С.И. Вавилова, Биржевая линия 12, 199034 Санкт-Петербург, Россия

Бузников А.А.

Государственный электротехнический университет, Санкт-Петербург, Россия

Груздев В.Н.

НИИ Экологической безопасности РАН, Корпусная 18, 197110 Санкт-Петербург, Россия

В настоящее время тепловизионные приборы достаточно широко распространены, они применяются в различных областях науки и техники. Изображения, полученные с помощью тепловизионных приборов, установленных на самолётах или космических аппаратах, дают тепловую контрастную картину. Однако во многих случаях необходимо иметь реальное распределение значений температуры на регистрируемом тепловом изображении. Иными словами необходима градуировка тепловизионной системы, для того чтобы повысить информативность инфракрасной съёмки. Азовским оптико-механическим заводом был создан 2-канальный авиационный тепловизор широкого применения "Вулкан". Он имеет два спектральных диапазона 3.2–5.2 мкм и 8–13 мкм, угол поля обзора аппаратуры 90° и мгновенный угол зрения 5 угловых минут. Оптико-механический дефлектор тепловизора "Вулкан" выполнен по схеме Кеннеди. Для расширения возможностей этого прибора и круга решаемых им задач в интересах природопользования предлагается несколько способов, не требующих значительных финансовых затрат, для градуировки этой аппаратуры и получения количественных характеристик регистрируемых потоков излучения.

Градуировка тепловизора с помощью введения в его оптическую систему опорного излучателя для каждого канала. Для введения опорных излучателей в данном методе используются коллиматоры, в качестве зеркальной оптики которых используется система Кассегрена. Сигнал от опорного излучателя предложено снимать во время холостого хода зеркальной призмы сканирующей головки тепловизора в момент времени, когда коллиматор с размерами, рассчитанными соответствующим образом, полностью перекрывает поле зрения оптической системы. Таким образом, получение радиометрически калиброванных изображений обеспечивается путём применения в составе сканера модуля опорных излучателей, формирующего эталонные потоки, которые в процессе сканирования на короткое время вводятся в оптический тракт для последующей привязки сигналов к энергетической шкале. В качестве опорных излучателей в данной системе градуировки предлагается использовать АЧТ, температурный режим которых основан на эффекте Пельтье. При помощи блоков электронной привязки сигнал, поступающий от снимаемой поверхности, привязывается к периодическому постоянному известному сигналу от опорных излучателей. Затем проверяемая экспериментально зависимость $U(T)$ программным образом задаётся в компьютере, тем самым пересчитывается напряжение сигнала в температуру. Градуировка по такому способу может применяться для ИК съёмки любой подстилающей поверхности. Стабильность опорного уровня поддерживает стабильность градуировки.

Градуировка тепловизора, основанная на привязке к излучению, идущему от стенки корпуса сканирующей головки. Вместо опорного излучателя в этом варианте градуировки предлагается использовать чёрную стенку корпуса сканирующей головки тепловизора, температура которой непрерывно измеряется термодатчиком. Для перечисленных методик градуировки тепловизора произведён энергетический расчёт.

Градуировка тепловизионного изображения с помощью инфракрасного радиометра. ИК радиометр даёт значение температуры водной поверхности по трассе движения самолёта, а тепловизионный прибор – относительное пространственное распределение температуры. Смысл градуировки состоит в том, что во время рабочего хода, когда тепловизор "видит" то же самое, что и ИК радиометр, с датчика синхронизации в блок электроники подаётся синхронизирующий сигнал, который свидетельствует о том, что именно в этот момент точно известна температура снимаемой поверхности. В дальнейшем при программной обработке производится сопоставление элементов тепловизионной развёртки с показаниями радиометра. Описываемый способ градуировки тепловизора даёт хорошие результаты при съёмке водной поверхности, так как распределение температуры в этом случае не имеет резких границ.

Методологические аспекты и разработки дистанционных средств измерений составляющих радиационного баланса

Алленов М.И. (allenov@typhoon.obninsk.org), Иванова Н.П., Овчинников В.В.,
Третьяков Н.Д.

Институт экспериментальной метеорологии ГУ НПО "Тайфун", Ленина 82, 249038 Обнинск, Россия

Радионов В.Ф.

Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Беринга 38, 199397 Санкт-Петербург, Россия

К настоящему времени теоретические работы по расчётам и моделированию составляющих радиационного баланса и баланса в целом широко известны в России и за её пределами. Обычно при разработке теоретических моделей используются экспериментальные данные. Однако эти данные не всегда являются достоверными или получены с заметными погрешностями из-за слабой метрологической базы, нерегулярности регламентных работ по сличению параметров измерительных средств. Поэтому результаты теоретических исследований требуют экспериментальной проверки. Ещё недостаточно проводятся работы и по унификации методик измерений. Последние годы из-за финансовых трудностей наблюдается застой в области разработки новых методов и средств оценки состояния сред.

В докладе сообщается о создании и разработках новых эффективных средств измерений составляющих радиационного баланса и загрязнений природных сред на основе последних научно-технических достижений ГУ НПО "Тайфун". Предлагаются методы измерений, схемные решения и оптико-электронные системы для измерений с Земли:

1) спектральных полусферических потоков суммарного и рассеянного солнечного излучения в ультрафиолетовой, видимой и ИК областях спектра в диапазоне 0,35–3,0 мкм. Отличие метода и средства измерений от известных заключается в том, что впервые в мировой практике создан макет для измерений полусферических потоков излучений со спектральным разрешением 1–2% от длины волны (см. патент на изобретение № 2/25250 от 20.01.1999 г.) [1];

2) тонкой пространственно-временной структуры рассеянного солнечного и собственного излучения облачности при помощи высокочувствительного сканирующего радиометра с высоким пространственным разрешением. Новые результаты объективной параметризации и распознавания форм и количества облачности можно использовать (и они используются) для прогноза противоизлучения атмосферы в диапазоне 8–13 мкм [2].

Методы и средства измерений оптико-физических характеристик природных сред предполагается применить при исследованиях по программе подготовки и проведения Международного полярного года в 2007–2008 гг.

1. Алленов А.М., Алленов М.И., Иванов В.Н., Соловьев В.А. Стохастическая структура излучения облачности. - С.-П.: Гидрометеиздат, 2000. – 175 с.
2. Иванов В.Н., Алленов М.И., Алленов А.М. Прогноз излучения неба при кучевой облачности. Науч. конф. по результатам исследований в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения природной среды в государствах – участниках СНГ: Тез. докл. – С.-П., 2002, 30-33.

Наземный многофункциональный измерительный комплекс для мониторинга атмосферной радиации в Кишиневе, Молдова

Акулинин А. (akulinin@phys.asm.md), Смыков В., Поликарпов А.

Институт прикладной физики АН Молдовы, ул. Академией 5, МД-2028 Кишинев, Молдова

Смирнов А. (asmirnov@ltpmail.gsfc.nasa.gov), Эк Т.

Годдардский иссл. центр, Мерилендский ун-т, НАСА/Годдардский центр космических полетов, Гринбелт, США.

Представлена информация о наземном измерительном комплексе, предназначенном для мониторинга атмосферной радиации и расположенном в городской черте Кишинева, Молдова ($\varphi=47.0013^{\circ}\text{N}$, $\lambda=28.8156^{\circ}\text{E}$, $h=205\text{ m a.s.l.}$). Комплекс предназначен для долговременного непрерывного мониторинга радиационных свойств атмосферы и создания базы данных измерений солнечной радиации в широком спектральном диапазоне.

На базе электронно-механических элементов и датчиков излучения, серийно выпускаемых компанией Kipp&Zonen (The Netherlands), создан автоматизированный измерительный комплекс. Данный комплекс позволяет проводить измерения солнечной радиации в широком спектральном диапазоне: от ультрафиолетовой (UV-B) до инфракрасной (IR) границы спектра в отдельных спектральных поддиапазонах. Выбранные поддиапазоны соответствуют спектральным характеристикам датчиков излучения: датчик UV-S-B-C для UV-B радиации (280–320 нм), датчик UV-S-A-C для UV-A радиации (320–400 нм), датчик PAR Lite для фотосинтетически активной радиации (400–700 нм), датчик SP Lite для видимого и ближнего инфракрасного излучения (400–1100 нм), датчики CM-11 и CH-1 для спектра солнечного излучения (280–2800 нм), датчик CG-1 для дальнего инфракрасного излучения, соответствующего собственному излучению атмосферы (4–42 мкм).

Комплекс позволяет проводить измерения диффузной, прямой и глобальной солнечной радиации. Измерения диффузной и прямой компонент солнечной радиации проводятся с использованием датчиков UV-S-B-C, CM-11 и CH-1, которые расположены на подвижной платформе автоматической системы 2AP BD слежения за солнцем. Остальные датчики расположены на стационарной платформе для измерения глобальной компоненты солнечного излучения.

Сбор данных, их предварительная обработка и накопление производится устройством записи и выдачи данных CR10X, которое через мультиплексор AM25T соединено с каждым датчиком радиации. Для получения высокой точности измерений сигналов датчиков радиации используются дифференциальные каналы подключения устройств CR10X и AM25T. Количество рабочих каналов, связанных с датчиками, – 9. Частота опроса каналов – 1 Гц, время выборки для последующего осреднения – 1 минута. Наборы данных измерений из модуля памяти SM4M считываются удаленным (на 20 м) компьютером. Поток исходных данных измерений, осредненных за 1 минуту, и часовые суммы для каждого датчика составляет 4–6 Мб/месяц.

Данные радиационных измерений дополняются основными метеорологическими величинами (температура, влажность, давление, скорость и направление ветра, освещенность

в диапазоне 280–315 нм и 400–1100 нм), полученными на автоматической метеостанции MiniMet (Skye Instruments, UK).

На измерительной станции проводятся регулярные измерения общего содержания озона с использованием ручного спектрофотометра MICROTOPS II Ozonemeter (Solar Light, USA).

С использованием солнечного фотометра Cimel CE-318, полученного от NASA/GSFC, на станции проводятся регулярные измерения спектральной аэрозольной оптической толщины, радиометрические измерения яркости неба в плоскости солнечного вертикала и в альмукантарате, общего содержания водяного пара в атмосфере. Мониторинг оптических свойств атмосферного аэрозоля в регионе Молдова проводится в рамках глобальной программы AERONET, рассчитанной на долговременную перспективу.

Представлены первые результаты измерений солнечной радиации и общего содержания озона в атмосфере г. Кишинева.

Исследования проводятся при финансовой поддержке фонда CRDF/MRDA (грант ME2-3033).

Возможности метода газо-корреляционной ИК-радиометрии в отношении определения содержания МГС атмосферы

Виролайнен Я.А., Дементьев Б.В., Иванов В.В., Поляков А.В., Тимофеев Ю.М.
НИИ физики Санкт-Петербургского государственного университета, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Рассмотрен нетрадиционный метод дистанционного зондирования атмосферы, использующий измерения излучения газо-корреляционным радиометром (ГКР). Особенностью этого метода является наличие в измерительном приборе исключительно селективного оптического элемента – модулируемого газового фильтра, обеспечивающего сверхвысокое спектральное разрешение при большой светосиле и умеренных весогабаритных характеристиках прибора. Для условий безоблачной атмосферы разработаны высокоточные алгоритмы и программы, моделирующие наземные измерения ГКР солнечного излучения, прошедшего через атмосферу, с учетом рассеяния излучения на аэрозольных частицах. Показано, что при интерпретации измерений солнечного излучения рассматриваемым прибором ГКР в области 2–3 мкм учет рассеяния и ослабления аэрозолями не является необходимым.

Для измерений в полосах метана 2.2 и 3.3 мкм а также в полосе СО 2.3 мкм определены оптимальные параметры интерференционного и газового фильтров ГКР. Для изготовленного макета ГКР потенциальная точность определения общего содержания (ОС) метана в полосе 2.2 мкм составляет 3.8–4.4%, в зависимости от зенитного угла Солнца. Показано, что при оптимизированных параметрах фильтров в полосе 3.3 мкм возможно измерять ОС метана с точностью не хуже 1%. Полученные оценки потенциальной точности измерения ОС СО в полосе 2.3 мкм составляют 45–49%. Показано, что при привлечении дополнительной информации о влагосодержании в момент измерения можно значительно повысить точность измерения ОС СО.

Разработаны алгоритмы и программы для интерпретации наземных измерений ГКР в численных экспериментах по определению содержания атмосферных газов. Разработанное программное обеспечение апробировано на смоделированном статистическом ансамбле состояний атмосферы. Для измерений ОС метана в полосе 2.2 мкм и ОС СО в полосе 2.3 мкм получены оценки численных погрешностей измерения, сравнимые с теоретическими оценками потенциальной погрешности.

Работа проводится при частичной поддержке гранта УР.01.01.044. (Университеты России).

Комплексные исследования изменчивости содержания окиси углерода в приземном слое и в столбе атмосферы в континентальных условиях

Кашин Ф.В. (las@typhoon.obninsk.org), Арефьев В.Н., Баранов Ю.И., Баранова Е.Л.,
Бугрим Г.И., Каменоградский Н.Е.

Институт экспериментальной метеорологии, НПО "Тайфун", Ленина 82, Обнинск, Россия

Исследования вариаций содержания атмосферной окиси углерода (СО) связаны с необходимостью прогнозирования климатических и экологических последствий изменения состава воздуха в результате антропогенного воздействия. СО является фотохимически активной газовой компонентой атмосферы и играет ключевую роль в регулировании окислительной способности тропосферных слоев.

Измерения содержания СО в атмосфере осуществляются двумя методами, основанными на определении его концентрации в приземном воздухе и содержания в столбе атмосферы. К началу настоящих исследований не проводились сопоставления полученных этими методами данных, так как они отличались местом и временем их проведения. В связи с этим для детального изучения пространственно-временной изменчивости содержания СО в атмосфере в Обнинске (55.1° N, 36.9° E, 183 м над уровнем моря) были начаты совместные измерения его содержания в приземном воздухе и в столбе атмосферы. Для проведения сравнений, результаты измерений содержания СО в столбе атмосферы представлены в виде средних по высоте концентраций, а из всего массива приземных концентраций используются их минимальные значения.

Сравнения показали, что наилучшее согласие результатов измерений содержания СО в приземном слое и в столбе атмосферы наблюдается в теплое время года. Этот период является наиболее благоприятным для конвективного перемешивания тропосферного воздуха, поэтому совпадение данных позволяет считать СО равномерно перемешанным по высоте. В остальное время, особенно в зимние месяцы, приземные концентрации СО превосходят средние по высоте. Это отражает изменение вертикального распределения концентрации СО, характеризующееся в этот период большими величинами концентраций в приземном воздухе и их уменьшением с высотой.

Характер сезонного хода концентрации СО по тем и другим данным одинаков. Минимальные концентрации СО как в приземном воздухе, так и в столбе атмосферы наблюдаются в июле и равны ~ 90 млрд⁻¹, максимальные – в декабре–январе и составляют ~ 200 млрд⁻¹ и ~ 130 млрд⁻¹ соответственно. Основное различие сезонных вариаций – это разная величина их амплитуд. Так, например, амплитуда сезонного хода концентрации СО в приземном воздухе составляет ~ 110 млрд⁻¹, в то время как амплитуда средней по высоте концентрации не превышает 45 млрд⁻¹. Разница амплитуд сезонных вариаций концентрации СО в приземном воздухе и в столбе атмосферы указывает на существование наземного источника окиси углерода, интенсивность которого увеличивается в холодное время года.

Несомненный интерес представляет сравнение данных о содержании СО в приземном слое и в столбе атмосферы, полученных во второй половине 2002 года. В это время на значительной части Европейской территории России отмечены лесные пожары, являющиеся источниками окиси углерода. Как показали измерения в августе и сентябре в приземном слое концентрации СО достигали 3500 млрд⁻¹, что почти в 25 раз выше минимальных величин для этого периода уровня. В то же время средние по высоте концентрации СО в некоторые дни в августе–сентябре составляли ~ 230 млрд⁻¹. Эта величина в 2.5 раза выше характерной для этого времени, но почти в 15 раз меньше, чем концентрация СО в приземном воздухе. Последний результат важен, так как показывает преимущество контроля газовых составляющих по измерениям их содержания в столбе атмосферы в условиях антропогенного воздействия.

Таким образом, полученные одновременно и в одном месте данные о содержании газа в приземном воздухе и в толще атмосферы, открывают возможность исследования

особенностей распространения газа в атмосфере по вертикали от источников его образования, находящихся на земной поверхности.

Методы и аппаратура для дистанционного контроля загрязнений природных сред и веществ

Бирюков В.Г.

Завод "Волковский", с. Волковка Моршанского р-на Тамбовской обл., Россия

Алленов М.И. (allenov@typhoon.obninsk.org), Иванов В.Н., Третьяков Н.Д.

Институт экспериментальной метеорологии ГУ НПО "Тайфун", Ленина 82, 249038 Обнинск, Россия

Юдин С.Г.

Институт кристаллографии РАН, Москва, Россия

Представлен корреляционный метод определения загрязнений водоёмов нефтепродуктами, основанный на одновременных измерениях с летательных аппаратов солнечного излучения, отраженного водной поверхностью, в интервалах 1.2–1.3 и 1.5–1.7 мкм днем и отраженного излучения неба в диапазоне 8–13 мкм ночью.

Регистрация флуктуаций отраженного излучения пленкой из нефтепродуктов осуществляется при помощи многоканального (четырёхканального) радиометра, мгновенные поля зрения которого сопряжены с погрешностью не более 2 минут дуги (пространственное разрешение радиометров составляет 24' дуги) [1].

Наличие пленки на воде (сигнальная информация) определяется по корреляционным связям между флуктуациями энергетической яркости каналов. Количественная экспресс-оценка концентрации нефтепродуктов – количество молекул на площади молекулярного слоя – осуществляется по коэффициенту поверхностного натяжения загрязненной жидкости, а также на основе спектральных исследований пленки из амфифильных молекулярных слоев, высаженных по методу Ленгмюра – Блоджетт на твердую подложку [2].

Для дистанционного определения взвесей в водных средах используется быстродействующий спектрометрический прибор, созданный на основе циркулярного интерференционного фильтра на диапазон 0.4–2.9 мкм с разрешением 1–2% от длины волны. Спектрометрический прибор и полученные ранее некоторые данные о взвешах опубликованы в [1, 3].

В докладе представляются результаты исследований, полученные в последние годы.

Для прецизионных измерений состава и концентраций загрязнителей жидких сред в ГУ НПО "Тайфун" (Росгидромет) совместно с НПО "Талвис" разрабатывается спектроанализатор на диапазон 1.4–12 мкм, выполненный по двухлучевой двухканальной схеме на основе специально созданного охлаждаемого жидким азотом приемника излучения с двумя входами (окнами) из соединений InSb и CdHgTe и широкодиапазонного селективного излучателя с клиновым циркулярным интерференционным фильтром и набором сверхузкополосных фильтров.

В докладе подробно описывается новый метод и схема спектроанализатора, на которые получено Решение от 24.11.2003 г. о выдаче патента на изобретение.

1. Алленов М.И. Структура оптического излучения природных объектов. – М.: Гидрометеиздат, 1988. – 164 с.
2. Алленов М.И., Бирюков В.Г., Гусев В.И., Юдин С.Г. Ленгмюровские методы исследований веществ и примесей в них на основе моно- и мультимолекулярных слоев. Труды ИЭМ. – С.-П., Гидрометеиздат, 1997. – Вып. 28(163), 132-160.
3. Алленов М.И., Бирюков В.Г., Караваева Е.В., Третьяков Н.Д., Юдин С.Г. О методе и результатах дистанционного распознавания жидких сред, загрязненных минеральными частицами и нефтепродуктами. В сб. докл. Всерос. науч. конф. "Дистанционное зондирование земных покровов и атмосферы аэрокосмическими средствами", 20-22 июня 2001, Муром., 326-328.

Авторский указатель

Абакумова Г.М.	45, 48	Владимирова Е.В.	29
Абдулкин В.В.	39	Власенко С.С.	83
Абдуллаев А.К.	54	Волкова Е.В.	106, 110
Абдуллаев Х.М.	52, 78	Володин Е.М.	9
Адамов Т.Н.	58, 59	Волох А.А.	69
Азизов Р.К.	92	Волошин В.Г.	135
Акименко Р.М.	117	Волошина Ж.В.	135
Акулинин А.	149	Востоков А.В.	12, 140
Александров В.Ю.	22	Гаврилов Н.М.	104
Александров М.В.	22	Гаврилович А.Б.	36, 43
Алленов М.И.	79, 148, 152	Гвоздовский И.А.	65
Андреева Е.С.	123	Герасимов Д.А.	95
Аникин П.П.	69, 141	Гермогенова Т.А.	6, 24
Апарина Т.В.	118	Голицын Г.С.	5, 74
Арефьев В.Н.	66, 73, 112, 115, 151	Голованов С.Н.	89, 90
Аушев В.М.	58, 122	Головко В.Ф.	93
Афонин С.В.	102	Голубаев А.В.	146
Ахмедов Р.Р.	121	Горбанев Ю.М.	146
Бабилов Ю.Л.	93	Горбаренко Е.В.	45, 48, 61
Бабина О.И.	22	Городничев Е.Е.	35
Баздров И.И.	86	Горчаков Г.И.	69
Баранов Ю.И.	151	Горчакова И.А.	74
Баранова Е.Л.	151	Гречко Е.И.	112, 116, 128, 131
Басс Л.П.	6, 24	Грибанов К.Г.	112
Белов В.В.	102	Григорович Н.И.	88
Белоголов В.С.	138	Григорьев И.М.	88
Белявский А.В.	144	Гришин И.А.	74
Бирюков В.Г.	152	Груздев А.М.	112
Бобылев Л.П.	21, 22	Груздев В.Н.	147
Боровик Ф.Н.	31	Гусев О.А.	37
Боровой А.Г.	74, 75, 76, 127	Гусейнов Г.А.	119, 132
Бороуз Д.П.	97	Гущин Г.П.	63
Бочаров В.Н.	94	Дементьев Б.В.	150
Бубукин И.Т.	16, 17	Джола А.В.	112, 116, 128, 131
Бугрим Г.И.	151	Дмитриева-Аппаго Л.Р.	136
Будак В.П.	27	Довгалюк Ю.А.	101
Будовый В.И.	138	Дрдла Е.	84
Бузников А.А.	147	Дудин В.Е.	15
Бурнашов А.В.	75	Егоров А.Д.	125
Бурцев А.П.	94	Елисеев А.А.	52
Бухаров М.В.	21	Елохов А.С.	112
Быков А.Д.	92	Емельянова В.Н.	101
Бычкова А.П.	141	Емиленко А.С.	69, 128
Ван Генчень	128	Ерохина А.Е.	61
Васильев А.В.	42, 98	Жантаев Ж.Ш.	59
Васильев И.В.	58, 59	Журавлева Т.Б.	24, 74, 134, 141
Веремей Н.Е.	101	Заболотских Е.В.	21
Виролайнен Я.А.	84, 98, 150	Захаров В.И.	112
Вишератин К.Н.	115	Зеге Э.П.	32, 118

Иванов А.П.	5	Кустова Н.В.	76, 127
Иванов В.В.	51, 150	Кутепов А.А.	37
Иванов В.Н.	152	Кутлимурастов Х.Р.	54
Иванова Н.П.	79, 148	Кухарский А.В.	109
Игнатова Н.И.	66, 73, 115	Кушнеров И.Д.	144
Илюшин Я.А.	39, 98, 112	Лаврентьев Н.А.	85
Исаков А.А.	69, 79	Лаврентьева Н.Н.	92
Йоханнессен О.М.	21, 22	Ланкин Ю.П.	138
Кабанов Д.М.	81, 142, 144	Левин И.М.	120
Кадыгров Е.Н.	5, 13	Левина Е.И.	120
Казак В.Я.	55	Лезина Е.А.	69
Казбанов В.А.	89, 90	Лопез-Гонзалес М.Д.	122
Калинин Г.В.	86	Лукин А.Б.	49, 61
Каменогградский Н.Е.	151	Луцько Л.В.	8, 141
Каргин А.Б.	27	Мазуров А.А.	105
Каргин Б.А.	27	Макарова М.В.	112, 118
Карпов А.В.	69	Малов А.Н.	121
Кацев И.Л.	32	Мангул И.Д.	55
Кашин Ф.В.	66, 73, 112, 115, 117, 151	Мангул С.И.	55
Киселев А.А.	137	Манойлов Э.П.	144
Киселев В.Б.	28	Мануйлова Р.О.	37
Киселева М.С.	89, 90	Маршак А.Л.	24
Кисляков И.М.	94	Марьенко А.В.	144
Кистенев Ю.В.	95	Маслов И.А.	124
Китай Ш.Д.	13, 14	Матюгин В.А.	136
Клеванцова В.А.	141	Махоткина Е.Л.	8, 49, 50
Козельский А.В.	27	Медведев В.А.	138
Козлова М.О.	123	Мелешко В.П.	136
Козодеров В.В.	103	Мелякянц С.М.	125
Козодоев А.В.	92	Миллер Е.А.	13
Козодоева Е.М.	144	Мирзоева Л.А.	90
Кокорин А.М.	80	Митник Л.М.	21
Копейкин В.М.	69	Михайленко С.Н.	93
Коробов Р.М.	60	Михайлов Е.Ф.	83
Королевская Н.П.	56	Мольков Я.И.	18
Коросов А.А.	105, 106	Мотрич В.Д.	125
Косцов В.С.	10, 98, 100, 111, 113	Мохов И.И.	5, 69, 74
Кохановский А.А.	24, 97, 118	Мохосоев А.К.	75
Коэн А.	74, 75, 76	Музылев Е.Л.	106
Крамарова Н.А.	67	Мухин Д.Н.	18
Крамчанинова Е.К.	100	Насретдинов И.М.	81
Красильников А.А.	17, 18, 146	Наумов А.П.	14
Кратенко А.Ю.	52, 78	Наумова Н.Н.	86, 87
Круглов В.В.	144	Незваль Е.И.	45, 48
Кузнецов Г.И.	67	Нерушев А.Ф.	67, 100
Кузнецов В.С.	6, 24	Несмелова Л.И.	91
Кузовлев А.И.	35	Николаева О.В.	6, 24
Кукин Л.М.	18	Николайшвили Ш.С.	34
Кулешова В.А.	41	Никольский Г.А.	62
Куликов Ю.Ю.	17, 18, 146	Ньюнам Д.А.	96
Куницын В.Е.	39, 121, 123, 133	Ньючерч М.	84, 98
		Обвинцева О.О.	86

Образцов С.П.	19	Салькова Е.Н.	65
Оверченко А.В.	60	Свердлик Л.Г.	70, 126
Овчинников В.В.	148	Свердлов Б.А.	15
Огибалов В.П.	41	Свириденков М.А.	5, 69, 141
Озерецкий Р.С.	69	Семакин С.Г.	129
Оппель У.Г.	74, 76, 127	Семенов А.О.	37
Орлова Т.Н.	65	Семенов В.К.	66, 73, 115
Ошарин А.М.	11, 12	Семутникова Е.Г.	69
Ошарина Н.Н.	13, 14	Сизов Н.И.	117
Павлов А.В.	141	Синельникова Г.Е.	89, 90
Панченко М.В.	5, 82, 142	Синица Л.Н.	92
Парамонов Л.Е.	39, 71, 72	Синькевич А.А.	101
Парамонова Н.Н.	117	Синяков В.П.	66, 73, 115
Пегасов В.М.	21	Смертенко П.С.	144
Перевалов В.И.	85	Смирнов А.	149
Петрушин А.Г.	75	Смит К.М.	96
Петтерссон Л.Х.	106	Смокий О.И.	119, 132
Плахина И.Н.	49	Смыков В.	149
Поберовский А.В.	112, 118, 129	Соколенко С.А.	141
Погорельцев А.А.	41	Соколов А.А.	108
Поздняков Д.В.	105, 106	Соловьев В.И.	109
Покровский И.О.	50	Сорокина Л.И.	73, 115
Покровский О.М.	50, 52, 55, 56, 78	Спорышев П.В.	136
Поликарпов А.	149	Станкевич К.С.	16, 17
Поляков А.В.	84, 98, 108, 150	Старцева З.П.	106
Постыляков О.В.	33, 124	Степаненко В.Д.	101
Потапова И.А.	125	Стил Х.	84, 98
Привалов В.И.	52, 117	Стогнеева И.А.	146
Привалов Д.В.	125	Столярченко Р.Д.	144
Пригарин С.М.	74, 77	Суворов Е.В.	18
Прихач А.С.	32	Сулейменов И.Э.	58, 59, 122
Пташник И.В.	96	Сушкевич Т.А.	29
Пузанов Ю.В.	40	Сыпченко Л.Ю.	55
Пулатов У.Ш.	54	Сырейщиков В.П.	140
Пшеничников А.М.	92	Тарасова О.А.	67
Радионон В.Ф.	79, 117, 148	Ташкун С.А.	85, 93
Ракитин А.В.	113	Творогов С.Д.	91
Решетников А.И.	117	Тереб Н.В.	67
Решетникова И.Н.	89, 90	Терез Г.А.	51
Роговцов Н.Н.	30, 31	Терез Э.И.	51
Рогозкин Д.Б.	35	Теренецкая И.П.	65
Родимова О.Б.	91	Терещенко Е.Д.	123
Романов С.В.	114	Терпугова С.А.	82
Ростомашвили З.И.	34	Тимофеев Ю.М.	10, 84, 98, 100, 108, 111, 118, 150
Рублев А.Н.	25, 74	Тонков М.В.	88
Рыскин В.Г.	17, 18, 146	Топтыгин А.Ю.	112
Рышкевич Т.И.	83	Трембач В.В.	25
Рябова Л.М.	50	Третьяков Н.Д.	148, 152
Савельева Н.В.	133	Троицкий А.В.	11, 12, 13, 140
Савиных В.В.	67	Троценко А.Н.	25
Сакаш И.Ю.	138	Турапов И.Т.	54
Сакерин С.М.	81, 134, 142, 144		

Уваров Н.В.	108	Чубарова Н.Е.	47, 48
Угольников О.С.	124	Шайн К.П.	96
Удалова Т.А.	25	Шакун Л.С.	125
Успенский А.Б.	21, 25, 106, 109, 114	Шанин В.М.	146
Утина З.М.	52	Шарыпов Д.А.	83
Фазлиев А.З.	85, 92, 134, 142, 144	Шатунова М.В.	136
Фейгин А.М.	18	Шашкин А.В.	129
Филатов Н.Н.	105	Швед Г.М.	37, 41
Филиппов Г.Н.	121	Шереметьева Т.А.	121
Филиппов Н.Н.	88	Шестопалов В.А.	146
Фирсов К.М.	134	Шиловцева О.А.	45, 46, 48
Фокеева Е.В.	128, 131	Шмидт В.А.	71, 72
Фролькис В.А.	137	Шукуров К.А.	69
Фурашов Н.И.	15	Шульц Э.О.	62
Харитонов Н.Н.	56	Щитов А.М.	146
Хойнингген-Хойне В.	97	Щукин Г.Г.	19
Холбаев Г.Х.	54	Эк Т.	149
Хорозов С.В.	138	Энгель М.В.	102
Хохлов В.Н.	38, 86, 87	Юдин С.Г.	152
Хохлов Д.А.	147	Юрганов Л.Н.	116
Чавро А.И.	108	Янковский В.А.	37, 41
Чайка А.М.	98, 108, 130	Bracher A.	99
Чайковская Л.И.	32	Burrows J.P.	99
Чен Б.Б.	70	Rozanov A.	99
Черемисин А.А.	72	Rozanov V.	99
Чернокульский А.В.	69	Sinnhuber M.	99
		Von Savigny C.	99