

МСАР- 2

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ
СТРАН СНГ**

**АТМОСФЕРНАЯ
РАДИАЦИЯ
2002**

Сборник тезисов

**Санкт - Петербург
2002**

**МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

САНКТ - ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



**МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ
СТРАН СНГ
«АТМОСФЕРНАЯ РАДИАЦИЯ»
(МСАР - 2)**

18 - 21 июня 2002 г., г. Санкт - Петербург

Сборник тезисов

Санкт - Петербург

2002

СИМПОЗИУМ ПРОВОДИТСЯ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:



Российского фонда
фундаментальных исследований

ISBN 5-7997-0411-8

The ARM program: An observatory for the study of clouds and Atmospheric Radiation

Ackerman Thomas, Evgueni Kassianov (Evgueni.Kassianov@pnl.gov)

Pacific Northwest National Laboratory, 902 Battelle Boulevard, P.O. Box 999, Richland, WA 99352, USA

The Atmospheric Radiation Measurement Program, sponsored by the United States Department of Energy, maintains ground-based remote sensing sites at three locations: the US Southern Great Plains, the North Slope of Alaska, and the Tropical Western Pacific. Continuous measurements of the surface energy budget, cloud properties, and meteorological variables are made at each of these locations. The ARM program supports a broad range of research that makes use of the data collected at these sites. In this presentation, we will show a sampling of the data collected at the sites and results from research on radiative transfer, cloud modeling, and parameterization testing.

Remote sensing of atmospheric aerosols, ozone and nitrogen dioxide by MFRSR networks

Alexandrov M.D. (malexandrov@giss.nasa.gov)

Columbia University and NASA Goddard Institute for Space Studies, 2880 Broadway, New York, NY 10025, USA

Lacis A.A. (alacis@giss.nasa.gov), Carlson B.E. (bcarlson@giss.nasa.gov), Cairns B. (bcairns@giss.nasa.gov)

NASA Goddard Institute for Space Studies, 2880 Broadway, New York, NY 10025, USA

The Multi-Filter Rotating Shadow-band Radiometer (MFRSR) has become a popular instrument in recent years in the US and is well-known worldwide. This instrument makes simultaneous measurements of the direct solar beam extinction and horizontal diffuse flux, at six wavelengths (nominally 415, 500, 615, 670, 870 and 940 nm) at one-minute intervals throughout the day. Our analysis of MFRSR data provides daily time series of the column mean aerosol particle size, aerosol optical depth, NO₂ and ozone column amounts. We have used the algorithm to analyze MFRSR measurements from a number of instruments from continental US sites and from islands (Hawaii, Bermuda, Barbados). The analysis of long-term MFRSR measurements provides a description of seasonal and inter-annual changes in atmospheric aerosols and trace gases as a function of geographical location.

We will emphasize the network nature of this instrument and present the results of an integrated analysis of multi-instrument data sets from local networks of MFRSRs. The largest local network, at the DOE ARM program's Southern Great Plains (SGP) site, consists of 21 instruments arrayed across approximately 55,000 square miles (3 by 4 degrees) in north-central Oklahoma and south-central Kansas. Smaller networks, consisting of more than 5 instruments, exist in New York City and South Dakota. Meteorological data are available for these sites, with the extensive measurements available at the SGP site. Using local wind measurements to combine the retrievals from several adjacent instruments allows us to construct 2D images which can then be readily compared with satellite data and used to investigate the spatial structure of the aerosol field.

We use comparisons between our 2D aerosol maps and the MODIS aerosol product to investigate the sensitivity of the aerosol retrievals to seasonal changes in atmospheric and surface conditions. Comparisons between the satellite aerosol retrievals, single instrument retrievals and our 2D aerosol maps demonstrate the advantages of dense measurements networks and multi-instrument retrievals for satellite validation studies. The area-resolved picture that emerges from

the local network data also provides a measure of local spatial variability and allows us to develop an improved understanding of the contribution of pollution events and local sources to the background values. For example, a statistical relationship between wind direction and NO₂ column amount at the SGP site strongly supports the idea of pollution transport from the Sooner power plant, located 45 km to the southeast of the SGP Central Facility. This may explain the relatively large column amounts of NO₂ that are retrieved at the SGP site from time to time.

Comparisons between our retrieval results and the AERONET-derived quantities emphasize the spectral trade-offs between NO₂ absorption and small particle extinction in the shortest MFRSR filters. In addition, we use the spectrally more complete Rotating Shadowband Spectroradiometer (RSS) measurements to investigate ways to resolve these uniqueness issues.

Информационные возможности российско–американского научного комплекса для наблюдения газовых и аэрозольных составляющих атмосферы Земли из космоса "Метеор 3М"/SAGE-3

Борисов Ю.А. (bor@cao.mipt.ru), Черников А.А., Ивановский А.И., Глазков В.Н.,
Банкова Т.В., Чаянова Э.А.

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

10 декабря 2001 г. осуществлен запуск российского космического аппарата Метеор-3М №1, на борту которого установлена американская аппаратура SAGE III, предназначенная для исследования вертикальных профилей газового и аэрозольного состава атмосферы Земли. Наблюдения проводятся в периоды восхода/захода Солнца/Луны. SAGE III обеспечивает измерение интенсивности прямого и отраженного от поверхности Луны солнечного излучения в 86 каналах диапазона длин волн от 290 до 1500 нм. Оптическая схема прибора осуществляет сканирование диска Солнца/Луны и обеспечивает вертикальное разрешение измерений 0,5 км. Сканирование диска на прицельных высотах более 150 км определяет распределение интенсивности внеатмосферного излучения вдоль диска Солнца/Луны для каждого спектрального канала. Измеряемые компоненты атмосферы: озон, двуокись азота, водяной пар, трехокись азота, двуокись хлора, экстинкция аэрозоля, температура и давление атмосферы.

Рассматриваются основные характеристики аппаратуры, методы проведения наблюдений, алгоритмы получения вертикальных профилей пропускания атмосферы и определения вертикальных профилей концентрации газовых компонент и экстинкции аэрозоля.

Метод обработки предполагает локальную сферически-симметричную атмосферу, с шагом по высоте 1 км, изменение оптических свойств атмосферы внутри слоя в 1 км описывается полиномом второй степени. Определено понятие матрицы эффективных длин путей луча в слое, разработан алгоритм расчета элементов матрицы.

Процедура получения вертикальных профилей пропускания атмосферы по результатам наблюдений по Солнцу основана на определении прицельной высоты единичного наблюдения и положения поля зрения прибора на диске Солнца. Вертикальный профиль пропускания атмосферы вдоль наклонной трассы, как функция прицельной высоты, определяется как частное от деления измеренной в атмосфере интенсивности на интенсивность внеатмосферного измерения при том же положении поля зрения прибора на диске Солнца. По экспериментальным данным отношение сигнал/шум превышает величину 4500 для каналов видимого диапазона для прицельных высот 25–35 км.

Рассмотрены два метода определения положения поля зрения прибора на диске Солнца: один с использованием информации о положении сканирующего зеркала относительно системы координат КА, другой с использованием расчетной информации о

положении Солнца. Сравнение двух методов позволило определить периоды и амплитуды качания КА в плоскости сканирования прибора SAGE III.

Алгоритмы определения вертикальных профилей концентрации двуокиси азота и озона основаны на многоволновой методике обработки, используют температурную зависимость сечения поглощения искоемых компонент, а также эффективные сечения поглощения с учетом спектральной зависимости интенсивности внеатмосферного солнечного излучения и аппаратные функции пропускания спектральных каналов. Получаемые концентрации газовых компонент и экстинкций аэрозоля привязаны к узлам сетки высот с шагом в 1 км.

Профили температуры и давления атмосферы определяются по результатам измерений в спектральных каналах полосы поглощения молекулярного кислорода 760 нм. Метод обработки основан на итерационной процедуре расчета оптической толщины молекулярного кислорода с использованием специально разработанной схемы параметризации полинейного расчета и предполагает гидродинамическое равновесия атмосферы в слое 1 км.

Радиационные характеристики атмосферного аэрозоля

Горчаков Г.И. (gengor@omega.ifaran.ru), Емиленко А.С., Исаков А.А., Копейкин В.М.,
Сидоров В.Н.

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

Атмосферный аэрозоль является одним из основных факторов, определяющих радиационный режим атмосферы и процессы образования облаков. Существующие неопределенности в информации о пространственном распределении и временной изменчивости параметров аэрозоля снижают надёжность климатических прогнозов. Для преодоления существующих трудностей необходимо разрабатывать модели радиационных характеристик атмосферного аэрозоля, основанные на обобщении результатов систематических измерений параметров аэрозоля и моделей динамики аэрозоля, поскольку в настоящее время атмосферный аэрозоль необходимо рассматривать как подсистему полной глобальной климатической системы. Задача учета радиационных эффектов атмосферного аэрозоля тесно связана с выбором оптимальных (на современном этапе) методов и алгоритмов решения уравнения переноса излучения. Широкое использование двухпоточкового приближения для расчета переноса коротковолнового излучения и длинноволновой радиации определило выбор самых важных радиационных характеристик аэрозоля: коэффициент ослабления, вероятность выживания кванта, средний косинус индикатрисы рассеяния и параметры, характеризующие их зависимости от длины волны света. Для адекватного описания вариаций радиационных характеристик атмосферного аэрозоля необходимо также знать их зависимости от относительной влажности воздуха. Намечающееся сейчас внедрение ореольных измерений на станциях контроля спектральной прозрачности атмосферы приведет к расширению набора необходимых радиационных характеристик аэрозоля. В Институте физики атмосферы около 40 лет ведутся систематические измерения оптических и радиационных характеристик аэрозоля. Подробно изучены вариации оптических характеристик приземного аэрозоля: коэффициента рассеяния, индикатрисы рассеяния, угловых и спектральных зависимостей компонент приведенной матрицы рассеяния света. Изучено влияние относительной влажности воздуха на оптические характеристики аэрозоля. Выполнены обширные измерения массовой концентрации сажевого аэрозоля, который определяет аэрозольное поглощение коротковолновой радиации. Оценены статистические характеристики радиационных параметров приземного аэрозоля на разных временных масштабах (внутрисуточная, синоптическая и сезонная изменчивость). По данным многолетних наблюдений определены тренды коэффициента рассеяния для Подмосковья и региона Кав.Мин.Вод. Выявлены

существенные особенности аридного аэрозоля, включая характерные проявления несферичности частиц пыльной мглы.

Получены систематические данные о пространственном распределении радиационных характеристик приземного аэрозоля вдоль Транссибирской магистрали в экспериментах “Тройка”. Выполнено исследование вариаций содержания субмикронного и сажевого аэрозоля в воздушных бассейнах двух мегаполисов (Москва и Пекин). Самолётное зондирование, в том числе в сочетании с лидарным, дало возможность выявить различные режимы формирования аэрозольного пограничного слоя атмосферы. Благодаря решению обратных задач светорассеяния были разработаны малопараметрические микрофизические модели приземного аэрозоля. Полученные данные и частные модели в совокупности с современными публикациями позволяют уточнить и дополнить известную многоярусную модель Г.В. Розенберга, прежде всего, для приземного и пограничного слоев атмосферы. Самостоятельной задачей является разработка моделей радиационных характеристик аэрозоля для всей толщи атмосферы. Для построения статистических моделей в настоящее время можно использовать результаты систематических измерений спектральной прозрачности атмосферы и сопутствующие измерения потоков рассеянной радиации на глобальной сети станций (AERONET и др.). Комплексные исследования оптических и микрофизических характеристик атмосферного аэрозоля, выполненные в ИФА РАН, позволили выявить некоторые важные особенности кинетики аэрозоля, в частности, закономерности конденсационной трансформации оптических и микрофизических параметров субмикронного аэрозоля, которые представляют интерес при построении региональных и глобальных моделей динамики аэрозоля.

Спутниковая радиотомография ионосферы и верхней атмосферы

Куницын В.Е. (kunitsyn@phys.msu.su)

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Воробьевы Горы, 119899 Москва, Россия

Терещенко Е.Д. (evgteres@pgi.ru)

Полярный геофизический институт, ул. Халтурина 15, 183011 Мурманск, Россия

В докладе рассмотрены методы спутниковой радиотомографии околоземной среды, включающей атмосферу и ближний космос. Современная техника радиозондирования и существующие спутниковые системы дают возможность определять томографические данные о показателе преломления околоземной среды, например, интегралы по лучам или их разности. Движение передатчика на спутнике и сеть приемников на Земле позволяют получать серии томографических данных при различных углах зондирования. В последние годы интенсивно развиваются различные томографические методы реконструкции неоднородной структуры среды, позволяющие восстанавливать пространственную структуру физических полей: распределения электронной концентрации и плотности нейтралов при радиозондировании ионосферы и магнитосферы; распределения температуры, плотности, давления, влажности при радиозондировании атмосферы.

В докладе обсуждаются исследования методом спутниковой радиотомографии (РТ), выполненные в последние годы. Многочисленные эксперименты были проведены в Европе, Америке и Азии совместно с сотрудниками ряда зарубежных университетов и исследовательских центров. В качестве источников радиозондирования использовались существующие навигационные системы.

Разработанные томографические методы позволили исследовать как известные ионосферные структуры, так и найти ряд новых (квазиволновые структуры, наклонный провал ионизации, пальцеобразные структуры, локализованные неоднородности и др.). РТ исследования провала ионизации, формирование которого связано с магнитосферно-ионосферным взаимодействием, дало информацию о вариациях его формы. Получены

реконструкции различных стадий формирования провала и сопутствующих этому процессу квазиволновых структур. РТ реконструкции перемещающихся ионосферных возмущений дали информацию о параметрах возмущений и позволили исследовать атмосферно–ионосферные взаимодействия. Проведены РТ исследования структуры и динамики экваториальной аномалии.

Проведены РТ исследования сильных возмущений ионосферы, вызванных антропогенными факторами, в частности, возмущений, вызванных стартами ракет, промышленными взрывами, мощным КВ излучением. Эксперименты по изучению нелинейного взаимодействия с авроральной ионосферой мощных радиоволн от нагревного стенда в Тромсе, дали информацию как о крупномасштабных возмущениях фоновой ионосферы, так и о мелкомасштабной структуре "пятна" в области разогрева. Получены РТ сечения возмущений верхней атмосферы, связанных с промышленными взрывами на поверхности Земли. Зарегистрировано несколько событий, отражающих взаимодействие геосфер.

В докладе проведено сопоставление компьютерного моделирования и экспериментальных результатов по применению РТ и радиозатменного (РЗ) методов зондирования ионосферы и атмосферы. РЗ метод, применяемый отдельно, дает хорошие результаты только в случаях протяженных реконструируемых областей (более 3000 км для ионосферы и более 600 км для атмосферы) со сферической слоистостью. При наличии неоднородных структур меньших масштабов (типа провала, экваториальной аномалии, локальных экстремумов, спорадических слоев для ионосферы), что в ионосфере и атмосфере бывает почти всегда, РЗ метод дает искаженные результаты, часто не восстанавливаются даже качественные особенности структур. Комбинированное применение РТ метода и РЗ метода, когда к РТ данным наземных приемников добавляются данные зондирования на трассах спутник-спутник (данные РЗ метода), позволяет заметно улучшить вертикальное разрешение РТ реконструкций. РТ метод подразумевает зондирование ионосферы в широком диапазоне различных положений приемопередающих систем. В этом смысле РЗ метод, дающий дополнительные данные на семействе квазикасательных лучей (доплеровские или фазоразностные данные на трассах спутник-спутник), является частным случаем томографического фазоразностного метода.

Рассмотрены варианты томографических исследований с применением различных источников зондирования как на основе существующих спутниковых систем, так и на базе возможных специализированных спутников. Рассмотрены общие вопросы томографического мониторинга околоземной среды, различные схемы томографического зондирования, проблемы единственности, ограничений и точности томографических реконструкций. Обсуждаются перспективы создания томографических систем регионального и глобального мониторинга околоземной среды.

Проблемы и способы построения высокотемпературных банков данных H_2O и CO_2 , их валидация

Осипов В.М. (sher@sbior.spb.su; osipov@niiki.ru)

НИИ комплексных испытаний оптико-электронных приборов и систем, 188540 Сосновый Бор, Россия

Существует широкий круг задач молекулярной спектроскопии, для решения которых необходима информация о спектроскопических параметрах основных атмосферных газов, нагретых до высоких температур. В первую очередь, это фундаментальные задачи переноса радиации в атмосферах Венеры и Марса. Существуют такие задачи и для атмосферы Земли. Например, для оценки кинетической энергии крупных космических тел по спектрам излучения, возникающим в момент их сгорания в атмосфере, необходимо знать спектральные характеристики молекулярных спектров излучения вплоть до температуры

диссоциации. Кроме того, такие характеристики необходимы и для решения значительного числа прикладных задач, связанных с переносом радиации в продуктах сгорания (двигатели ракет и самолетов, котлы тепловых электростанций и т.п.), с проблемами экологического и технологического контроля состава газовой среды. Для расчетов требуемых характеристик спектров поглощения и излучения нагретых газов в настоящее время широко используются как эмпирические методики, основанные на моделях полос поглощения, так и методики, использующие базы данных line-by-line, (т.е. базы данных по параметрам спектральных линий). Недостатки эмпирических методик хорошо известны – ограниченный диапазон условий применения, плохо контролируемая точность получаемых характеристик. Недостатки методов, использующих базы данных line-by-line, связаны, в первую очередь, с трудностями создания таких баз. В данном докладе проблемы создания высокотемпературных баз line-by-line и полученные результаты рассмотрены на примере молекул водяного пара и углекислого газа.

Расчеты параметров трехатомных молекул вызывают особые трудности. Эти трудности обусловлены следующими обстоятельствами:

1. сложностью алгоритмов расчета параметров линий (особенно в случае асимметричных молекул типа H_2O , когда расчеты ab initio требуют использования наиболее мощных современных компьютеров);
2. чрезвычайно большим объемом требуемой информации;
3. резким расширением спектрального диапазона каждой полосы поглощения, вследствие чего в высокотемпературных спектрах перекрываются полосы, центры которых разнесены на несколько тысяч см^{-1} .

При построении баз данных line-by-line существуют два основных подхода к задаче расчета параметров спектральных линий молекулярных переходов, имеющие определенные преимущества и недостатки.

В первом подходе требуемые спектроскопические параметры линий (положения, интенсивности, полуширины) рассчитываются каждый раз заново для конкретной заданной температуры (база HOTGAS).

Во втором подходе для определения требуемых спектроскопических параметров используются заранее подготовленные базы данных, рассчитанные для некоторой референтной температуры T_0 , лежащей внутри интересующего температурного диапазона (HITRAN, HITEMP и др.).

В докладе представлен анализ различных подходов, сделанный на основе широкого сопоставления выполненных расчетов спектров излучения и пропускания H_2O и CO_2 при различных температурах с результатами опубликованных экспериментальных исследований.

Определение параметров состояния атмосферы из космоса: результаты и перспективы спутниковых экспериментов GOME и SCIAMACHY

Розанов В.В., J. Burrows, H. Bovensmann, K. Bramstedt, M. Buchwitz, R.de Beek, K.-
U. Eichmann, M. Freitag, W. Hoyningen-Huene, J. Kaiser, A. Kokhanovsky, S. Noel, A. Richter,
A. Rozanov(alex@iup.physik.uni-bremen.de), S. Tellmann, M. Vountas

*Институт физики окружающей среды, Институт дистанционного зондирования Бременского Университета,
п/я 330440, D-28334 Бремен, Германия*

Успешный запуск на орбиту аппаратуры GOME (Global Ozone Monitoring Experiment) был произведён в апреле 1995 года. В качестве основной особенности этого спутникового эксперимента следует отметить возможность проведения многоспектральных измерений рассеянного солнечного излучения в необычно широком интервале спектра (240–800 nm) с достаточно высоким спектральным разрешением (0,12–0,15 nm).

Широкий спектральный диапазон и квазинепрерывность измерений явились основой для постановки и успешного решения целого ряда задач определения параметров состояния атмосферы, таких как:

- 1) восстановление вертикального профиля озона в спектральном интервале 290–340 нм с использованием алгоритма "FURM" (full retrieval method), позволяющим одновременно с определением высотного распределения озона оценивать аэрозольное рассеяние, альбедо поверхности и корректировать влияние ошибок абсолютной калибровки;
- 2) глобальное восстановление общего содержания таких атмосферных газовых компонент как BrO, OClO, HCHO и NO₂ в интервалах спектра 350–380 нм и 420–450 нм с использованием впервые в интерпретации спутниковых измерений метода DOAS (differential optical absorption spectroscopy);
- 3) определение глобального распределения общего содержания водяного пара по полосе поглощения 685–710 нм с помощью специально разработанного метода WFDOAS (weighting function DOAS), позволяющего использовать методы дифференциальной оптической спектроскопии в полосах поглощения с сильной зависимостью коэффициентов поглощения от температуры и давления;
- 4) исследование Ринг-эффекта и возможности его применения для определения положения верхней границы и оптической толщины облачности, используя сильные Фраунгоферовские линии Ca II в спектральном интервале 390–400 нм;
- 5) восстановления аэрозольных параметров состояния атмосферы в широком спектральном интервале (340–700 нм), позволяющем в условиях отсутствия облачности выявлять вклад аэрозольного ослабления атмосферы.

Естественным продолжением эксперимента GOME является аппаратура SCIAMACHY (Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Cartography), успешно выведенная на орбиту первого марта 2002 года. Расширение спектрального диапазона измерений в ближний ИК диапазон (240–2400 нм) по сравнению с GOME позволяет наряду с определением общего содержания выше перечисленных компонентов ставить задачу восстановления концентрации таких газов как CO, N₂O, CH₄ и CO₂. Совместная интерпретация измерений рассеянного излучения в видимой и ближней ИК области спектра при наличии облачности позволит восстанавливать такие параметры, как оптическая плотность облака и эффективный радиус распределения капель по размерам.

Наряду с надирной геометрией измерений аппаратура SCIAMACHY рассчитана на проведение лимбовых измерений рассеянного солнечного излучения и измерений пропускания атмосферы на наклонных трассах при восходах и заходах Солнца. Интерпретация лимбовых измерений позволит получить информацию не только о вертикальном профиле озона с более высоким вертикальным разрешением, но и восстановить вертикальный профиль NO₂. Совместная интерпретация надирных и лимбовых измерений позволит также получить информацию о тропосферном содержании ряда малых газовых компонентов атмосферы.

Разработка теоретических основ и информационно–математического обеспечения расчетов радиационных и передаточных характеристик Земли и радиационной коррекции в задачах аэрокосмического дистанционного зондирования природной среды

Сушкевич Т.А. (tamaras@spp.keldysh.ru)

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

Информационно-математическое обеспечение – обязательная составная часть любого космического проекта и космического землеведения [1, 2]. При дистанционном

зондировании и мониторинге экологических, природных и технических объектов носителем информации об их состоянии является электромагнитное излучение, регистрируемое различными средствами. Вычислительные эксперименты предоставляют возможность выбора оптимальных условий и средств для оперативного мониторинга возникновения и развития аварий на базе расчетных моделей [3].

Информационно-математическая модель радиационных процессов в составе универсальных базовых физико-математических моделей, математического аппарата, программного комплекса для моделирования радиационных процессов и расчета угловых, пространственных, спектральных, интегральных характеристик радиационного поля разработана на основе кинетического уравнения переноса электромагнитного излучения в природных средах с учетом поляризации и рефракции, аэрозольного и молекулярного рассеяния и поглощения солнечного и собственного излучения, анизотропии, пространственной неоднородности и стохастичности среды (параметров атмосферы, суши, океана, облачности, гидрометеоров). Приходится иметь дело с многомерными, многопараметрическими краевыми задачами для интегро-дифференциального кинетического уравнения переноса излучения в рассеивающих, поглощающих, излучающих, поляризующих и преломляющих средах в диапазоне длин волн от УФ до СВЧ.

Основы информационно-математической системы моделирования радиационного поля Земли. Одна из целей – создание целостного представления о закономерностях существования Земли как планеты и среды обитания человечества, о реальном состоянии природной среды и направленности эволюции экосистемы Земли, оценка ее способности выдерживать антропогенные нагрузки, т.е. ее самовосстановительного потенциала. Программные комплексы создаваемой системы автоматизированного расчета, обработки и анализа радиационных характеристик Земли и решения задач дистанционного зондирования разрабатываются на многопроцессорных супер-ЭВМ с параллельными вычислениями под управлением через сеть с рабочего места, организованного на РС.

Методическая концепция радиационной коррекции

Можно выделить три типа радиационных задач, требующих учета земной поверхности. Первый тип – это задачи энергетики и радиационного баланса Земли, когда источником служит радиация Солнца. Второй тип – это задачи дистанционного зондирования атмосферы и облачности, когда земная поверхность является помехой. Третий тип – это задачи дистанционного зондирования земной поверхности, когда необходимо устранить (провести атмосферную коррекцию) или достоверно учесть влияние атмосферы.

В любой активной или пассивной системе дистанционного зондирования земной поверхности всегда присутствуют четыре главные компоненты: "сценарий", "сцена", т.е. распределение яркости наблюдаемых объектов и ландшафта; атмосферный канал передачи изображения; прибор регистрации электромагнитных волн; комплекс обработки и распознавания изображения. Атмосферно-оптические механизмы воздействуют на формирование "сценария", на перенос его изображения через среду и учитываются в радиационной коррекции при анализе "сцен". Целесообразно использовать универсальный подход, который позволяет описывать весь канал наблюдения через объективные характеристики, инвариантные относительно конкретных структур зондируемых объектов, условий освещенности и визирования. Такой подход широко применяется в классической оптике, в теории видения, в теории электрических цепей, в теории оптико-электронных систем, в теории фотографии, в теории обработки изображений и известен как линейно-системный подход [4,5].

Атмосферный канал рассматриваем как элемент оптической системы переноса излучения и строим теорию оптического передаточного оператора, используя математический аппарат линейно-системного подхода.

Оптический передаточный оператор – линейный функционал, описывающий передачу "сценария" яркости земной поверхности через атмосферу с помощью объективных

инвариантных характеристик линейных систем, позволяет учитывать земную поверхность с позиции единства (общности) математического аппарата с широким классом приложений (теория видения, теория передачи и обработки изображения, дистанционное зондирование с активными и пассивными источниками, теория локации и пеленгации и т.п.). Все типы поверхностей, объектов, источников описываются с помощью набора из четырех базисных моделей функций влияния и двух базисных моделей пространственно-частотных характеристик. Практически все прямые и обратные задачи в этих приложениях (как в рамках детерминированного, так и статистического подхода) решаются в приближении линейных систем. Нелинейные эффекты оцениваются и учитываются либо как шумы или помехи, либо через нелинейное приближение "сценария".

Специфика космических технологий такова, что теория, как правило, опережала практику и привлекалась для объяснения наблюдаемых явлений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 00–01–00298).

1. *Космическое земледование: Информационно-математические основы*. Под ред. В.А. Садовниченко. Авторы: Козодеров В.В., Косолапов В.С., Садовнический В.А., Тимошин О.А., Тищенко А.П., Ушакова Л.А., Ушаков С.А. М.: Изд-во МГУ, 1998, 571 с.
2. *Космическое земледование: Диалог природы и общества. Устойчивое развитие*. Под ред. В.А. Садовниченко. Авторы: Козодеров В.В., Садовнический В.А., Ушакова Л.А., Ушаков С.А. М.: Изд-во МГУ, 2000, 640 с.
3. Сушкевич Т.А. и др. Теоретические основы и расчетные модели для построения мониторинга возникновения и развития аварий и катастроф. В сб. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Т. 6. Функционирование и развитие сложных народнохозяйственных, технических, энергетических, транспортных систем, систем связи и коммуникаций. Раздел первый. М.: МГФ "Знание", 1998, 419–430.
4. Сушкевич Т.А. О решении задач атмосферной коррекции спутниковой информации. *Исслед. Земли из космоса*, 6, 1999, 49–66.
5. Сушкевич Т.А. Линейно-системный подход и теория оптического передаточного оператора. *Оптика атмосферы и океана*, 13, 8, 2000, 744–753.

Мониторинг ультрафиолетовой радиации по данным наземных и спутниковых измерений

Чубарова Н.Е. (chubarova@imp.kiae.ru)

Метеорологическая обсерватория, Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Воробьевы Горы, 119899 Москва, Россия

Анализируются результаты наземного и спутникового мониторинга длинноволновой (300–380 нм) и коротковолновой (менее 320 нм) биологически активной УФ радиации (соответственно, УФР380 и БАУФР) над территорией Восточной Европы и, более детально, в Московском регионе. Анализ межгодовой изменчивости УФ радиации за период 1979–2000 г. выявил наличие положительного тренда как по данным наземных (Метеорологическая Обсерватория (МО) МГУ), так и по данным спутниковых измерений прибором TOMS. Показано, что увеличение длинноволновой УФ радиации в последние годы определялось, главным образом, уменьшением балла облачности и аэрозольной компоненты. Уменьшение общего содержания озона в 90-ые годы выразилось в дополнительном усилении положительного тренда БАУФР. Однако при анализе более длинного периода наблюдений (1968–2001) значимых трендов УФР380 и БАУФР не отмечается.

Проведено детальное сравнение величин УФ380, полученных по спутниковым данным TOMS, с результатами непосредственных наземных измерений в МО МГУ. Выявлено, что УФ радиация, восстановленная по спутниковым данным, больше измеренной у поверхности Земли, в среднем примерно на 10%. Неучет в стандартном алгоритме TOMS аэрозольного ослабления в нижнем слое атмосферы приводит к завышению величин УФ радиации в безоблачных условиях на 5–20% в зависимости от аэрозольных свойств атмосферы. В условиях протяженной облачности и низкого альбедо поверхности завышение расчетов УФ

радиации по данным TOMS в среднем составляет 15–17%. Анализируются причины расхождений спутниковых и наземных измерений при высоком альбедо поверхности. Оцениваются погрешности в расчетах величины УФР380 за счет несоответствия альбедо снега, используемого в стандартном алгоритме TOMS, его реальным значениям.

Начиная с 1999 г., в МО МГУ и на ее полигоне на территории Звенигородской биостанции МГУ проводятся регулярные измерения БАУФР широкополосными УФ радиометрами UVB-1_YES. Проведено детальное исследование приборов UVB-1_YES и сравнение результатов их калибровок в США и Греции. Описан метод, позволяющий улучшить точность измерений БАУФР приборами этого типа до $\pm 5\%$. Результаты измерений БАУФР за период 1999–2001 гг. в МО МГУ выявили значительную (свыше 20%) изменчивость месячных сумм БАУФР, главным образом, за счет вариаций облачности и озона. Проанализированы величины УФ индексов, наблюдающихся в Москве и пригороде в разные сезоны года. Показано, что в зимний период в пригороде по сравнению с городскими условиями наблюдаются более высокие дозы БАУФР (до 20%), что определяется как особенностями распределения облачного покрова, так и большим альбедо поверхности. В некоторые месяцы теплого периода уровень БАУФР в пригороде также более высокий, чем в Москве, что, вероятно, связано с различиями в содержании малых газовых примесей и аэрозоля.

СЕКЦИЯ 1. ТЕОРИЯ ПЕРЕНОСА ИЗЛУЧЕНИЯ – НОВЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ

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

Сопредседатель: проф. А.П. Иванов (Институт Физики НАНБ, Минск)

Математическое моделирование на компьютерах с параллельной архитектурой переноса солнечного и лазерного излучений в трехмерной атмосфере

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

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

Разработка трехмерных математических моделей переноса излучения представляет одно из ключевых направлений в проблемах дистанционного зондирования аэрокосмическими средствами системы "атмосфера + земная поверхность". Наиболее общие модели отвечают распространению поляризованного излучения, солнечного и от мононаправленных источников, в неоднородной атмосфере над отражающей неоднородной поверхностью. Поскольку такие модели представляются слишком сложными, большое число работ посвящено развитию средств математического моделирования для упрощенных вариантов.

Однако, в последние годы появились суперкомпьютеры с параллельной архитектурой, производительность которых на несколько порядков превышает возможности лучших персональных компьютеров, достигая значений 10^{12} – 10^{13} операций/сек. Отечественный многопроцессорный компьютер МВС–1000М содержит в настоящее время 768 процессоров и имеет пиковую производительность $\sim 10^{12}$ опер./сек., а общий объем оперативной памяти – 768 Гбайт. МВС–1000М на базовом тесте Linpac реализует 50% своей пиковой производительности, (т.е. $0,5 \cdot 10^{12}$ опер./сек.), что соответствует 45–му месту в перечне 500 наиболее мощных компьютеров в мире. В списке вычислительных систем европейского производства МВС–1000М занимает первое место.

Разработанные в ИПМ РАН сеточные алгоритмы решения уравнения переноса реализованы в программах РАДУГА–5.1 (для однопроцессорного компьютера и РАДУГА–5.1(П) – для многопроцессорного. Они ориентированы на широкий круг задач, в том числе, на задачи атмосферной оптики (пока без учета поляризации), и позволяют проводить расчеты для неоднородных областей как с двумерными геометриями $((x, y), (r, z), (r, \theta))$, так и с трехмерными (x, y, z) и (r, θ, z) , с внутренними и внешними источниками, распределенными и δ – образными, с возможным отражением на внешней границе, в достаточно общих предположениях об анизотропии рассеяния, отражения и источников.

Основные усилия в разработке численных методов сосредоточены на двух проблемах: разработке хороших способов аппроксимации решений и на развитии эффективных алгоритмов ускорения сходимости итераций по кратности рассеяния, обычно используемых в решении сеточных уравнений. Нерассеянная часть излучения в случае широкого или узкого параллельных пучков вычисляется аналитически, для δ – образного лучевого источника вычисляется (полуаналитически) также рассеяние 1–й кратности. В расчете многократного рассеяния используются положительные консервативные сеточные схемы метода дискретных ординат.

Развитый аппарат позволяет провести расчетные исследования переноса излучения для моделей атмосферы, близких к реальной. Результаты могут быть использованы в анализе конкретных проблем атмосферной оптики. Кроме того, они будут полезны в разработке и оценках точности ("верификации") различных упрощенных подходов.

В докладе будут приведены примеры расчетов для некоторых трехмерных моделей. Обсуждаются задачи оптики атмосферы, где высокоскоростные расчеты на суперкомпьютерах могут быть полезны.

Расчетные результаты для ряда базовых проблем будут помещены в общедоступный Internet – Банк тестовых задач (<http://rts.riam.ru/verval/>). В настоящее время Банк содержит расчетный аппарат, а также конкретные результаты, определяющие асимптотические радиационные характеристики для оптически плотных слоев.

Сферическая модель радиационных характеристик атмосферы в условиях дневных и ночных наблюдений по горизонту Земли из космоса выбросов газовых и аэрозольных примесей

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

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

Настоящая работа является естественным продолжением и развитием многолетних исследований по методам и алгоритмам численного решения задач теории переноса излучения в рассеивающих, поглощающих и излучающих сферических системах сложной структуры [1–3]. Значительным стимулом этой работы послужило качественное изменение информационных технологий, обусловленное внедрением высокопроизводительных многопроцессорных ЭВМ с распараллеливанием вычислений.

Предыдущий опыт работ со сферическими моделями убедительно показал, что наш базовый метод – итерационный метод характеристик – совокупность метода интегрирования уравнения переноса по характеристикам и метода последовательных приближений по кратности рассеяния с процедурами ускорения сходимости итераций – оптимально реализуется посредством алгоритмов распараллеливания вычислений.

Сферические многомерные модели переноса излучения, несмотря на их сложность и громоздкость численной реализации на первых поколениях ЭВМ (М-20, БЭСМ-4, БЭСМ-6), в 60-е–70-е годы имели исключительную актуальность в связи с проектированием и созданием ракетно-космических систем, освоением ближнего и дальнего космического пространства, организацией и проведением космических исследований и наблюдений из космоса. Параллельно развивались исследования по научно-фундаментальным проблемам метеорологии, океанологии, физики атмосферы, изучения природных ресурсов, дистанционного зондирования атмосферы, суши, океана, облачности, гидрометеоров с привлечением космических данных.

Эпохальным оказался этап становления и совершенствования сумеречных исследований планетных атмосфер с КА. Г.В.Розенберг не только первым сформулировал такую задачу, но и впервые реализовал теоретические построения в первом инструментальном исследовании земной атмосферы с ПКК: 17 июня 1963 г. с борта ПКК "Восток-6" были получены космонавтом первые в мире фотографические снимки края Земли с окружающим ее сумеречным и заревым ореолом, позволившие впервые установить и обосновать существование динамичных стратосферных аэрозольных слоев оптическими методами и средствами дистанционного зондирования с космических орбит. Космические оптические наблюдения, сопровождающиеся репрезентативным математическим моделированием, позволили не только обнаружить, но и впервые исследовать оптическую структуру стратосферных аэрозольных и озоновых слоев методами дистанционного зондирования. Эти пионерские работы подтвердили достоверность разработанных сферических моделей поля излучения Земли.

Подход на основе анализа уравнений для характеристик в криволинейных координатах и разных приемов ускорения сходимости итераций по подобластям позволяет перейти к численному решению трехмерно-неоднородной сферической задачи, моделирующей близкие к реальным земные условия. Такая постановка приобретает актуальность в связи с проблемами фоторадиационной химии атмосферы (тропосферы и озоносферы в условиях сумерек, зари, терминатора, полярных регионов), информационного обеспечения

томографии атмосферы Земли, в том числе рефрактометрическими методами и космическими системами, работающими в условиях наблюдений по горизонтальным трассам, дистанционного зондирования полярных регионов, созданием моделей спектрально-радиационного баланса Земли, фазовой яркости Земли для приборов космической навигации (возврат КА на Землю, навигация КА по Земле), реализацией проектов дополнительных источников энергии на КА путем использования солнечного излучения, отраженного Землей, и т.п.

Новые перспективные возможности математического моделирования атмосферной радиации Земли в масштабах планеты связаны с разработкой математического обеспечения для широкой области приложений на суперкомпьютерах с параллельной архитектурой.

В последнее время возросла актуальность использования двух- и трехмерных сферических моделей для решения проблем оперативного обнаружения залповых выбросов аэрозольных и газовых примесей в тропосферу и стратосферу в результате техногенных аварий и природных катастроф. При оптимизации выбора условий обнаружения выносов конечных размеров важно отделить ложные сигналы, которые обусловлены прямыми солнечными лучами с учетом размытия узкого пучка в результате рассеяния, а также прямыми солнечными лучами, отраженными от водной поверхности.

На основе метода характеристик для многомерной сферической модели [1, 2] предлагается исследование пространственной структуры аэрозольных и газовых выбросов в условиях наблюдения из космоса в коротковолновом и длинноволновом диапазонах спектра, в том числе с учетом рефракции [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 00–01–00298, 02–01–06251).

1. Сушкевич Т.А., Владимиров Е.В. Сферическая модель переноса излучения в атмосфере Земли. – II. Криволинейная система координат. Характеристики уравнения переноса. Препринт № 73. М.: ИПМ РАН, 1997, 28 с.
2. Сушкевич Т.А., Владимиров Е.В. Об оптическом передаточном операторе сферической системы атмосфера-Земля. Препринт № 47. М.: ИПМ РАН, 2000, 30с.
3. Сушкевич Т.А. Об уравнении переноса в сферической геометрии с пространственной неоднородностью и рефракцией. Численное решение задач атмосферной оптики. М.: ИПМ АН СССР, 1984, 138–151.

Трехмерная плоская модель радиационных характеристик атмосферы в регионе аварийных выбросов газовых и аэрозольных примесей и лесных пожаров

Стрелков С.А., Сушкевич Т.А. (tamaras@spp.keldysh.ru), Владимиров Е.В., Максакова С.В., Куликов А.К.

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

Фомин Б.А. (fba@cp.msk.su), Житницкий Е.А.

Российский НЦ “Курчатовский институт”, Институт молекулярной физики, пл. Курчатова 1, 123182 Москва, Россия

В настоящее время не ослабевает потребность в разработке новых подходов к решению экологических задач и к оценке эффективности мер обеспечения технологической безопасности и природоохранных мероприятий. В ближайшие годы такие разработки должны стать чрезвычайно актуальными по следующим обстоятельствам:

- в мировом сообществе принимаются решения о введении международных квот на объемы выбросов и для этого требуется осуществление контроля над трансграничными переносами загрязняющих примесей и источниками их эмиссии;
- в последнее время из-за ухудшения экономической ситуации в стране многие производства или сократились, или просто остановлены и не наносят вреда природе, но по многим прогнозам в ближайшие годы ожидается увеличение вероятности

возникновения природных и техногенных катастроф из-за износа оборудования с высоким уровнем опасности и поражающих факторов;

- повышается риск проведения военных операций с разрушением экологически опасных объектов, последствия которых через атмосферные переносы имеют региональный и глобальный транснациональный характер.

В такой перспективе экологическая и технологическая безопасность переходит в разряд стратегических и важнейших социально-экономических факторов, а математические модели становятся эффективным инструментом исследований и решения научных и практических задач. Они позволяют заменить дорогостоящие натурные испытания вычислительными экспериментами. Работы этого направления активно ведутся во всех развитых странах, особенно интенсивно в США, Германии, Франции, Англии, Японии и др. В России подобными задачами занимаются в коллективах ГГО (Санкт-Петербург), ИММ РАН, ИПГ, ИВМ РАН, ИРЭ РАН, ИБРАЭ РАН (Москва), ТГУ, ИОА СО РАН (Томск), а также в других академических и отраслевых институтах. В мировой практике повсеместно идет отказ от использования упрощенных методик и переход к современным системным моделям.

Математическое моделирование является, по существу, единственным методом катастроф и получения общей картины экологической ситуации. Предлагается разработка и развитие имеющейся системы математических моделей и основанной на современной компьютерной базе системы вычислительных средств: математических моделей, компьютерных программ, информационных систем, баз данных, системы анализа, обработки и визуализации численных экспериментов.

Создание физико-математических моделей высокоинформированных каналов атмосферно-оптических наблюдений при своем решении обеспечивает получение оперативных данных о широком круге оптических и метеорологических параметров атмосферы, контроль уровня загрязненности воздушного бассейна, возможность систематических исследований быстропротекающих процессов в системах атмосфера-земная поверхность, атмосфера-океан, атмосфера-гидрометеоры и т.д. В реальных условиях аэрокосмических наблюдений технологические возможности контроля состояния среды и изменения сигналов с необходимой точностью ограничены, поэтому в подобных условиях многие методические вопросы могут быть сняты путем численного моделирования. Нужны модельные вычислительные эксперименты, ориентированные на решение проблемы планирования и оптимизации измерительных комплексов, проведения системных исследований по использованию комплексных средств для восстановления наиболее полного набора параметров среды на момент измерения.

Система мониторинга и иерархия моделей – главные инструменты для прогнозирования изменений в природных процессах и разделения естественных и антропогенных воздействий.

Приходится иметь дело с многомерными, многопараметрическими краевыми задачами для интегродифференциального кинетического уравнения переноса излучения в рассеивающих, поглощающих, излучающих, поляризующих и преломляющих средах в диапазоне длин волн от УФ до ММВ.

Многомерные плоские модели с пространственной неоднородностью атмосферы и подстилающей поверхности [1–3] приобретают актуальность в связи с проблемами лесных пожаров. Еще в начале 80-х годов при моделировании последствий локальных ядерных ударов было отмечено [4] какую важную роль играют радиационные процессы. С одной стороны, радиационные потоки влияют на развитие пожаров, а с другой стороны, по спектральным и пространственным распределениям электромагнитного излучения методами дистанционного зондирования можно осуществлять мониторинг развития пожаров и оценки их последствий. Для этого используются оптический и инфракрасный диапазоны спектра. При оперативных работах важно исключить ложные сигналы. В связи с этими проблемами

остро стоит вопрос о влиянии физико-химических механизмов на формирование аэрозольного и газового состава примесей в атмосфере.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 02–01–00135, 02–01–06251).

1. Сушкевич Т.А. Математическая модель расчета поля солнечной радиации в аэрозольной атмосфере со слоистой облачностью. Препринт № 86. М.: ИПМ АН СССР, 1986, 28 с.
2. Сушкевич Т.А., Иолтуховский А.А. Численное решение уравнения переноса в трехмерно-неоднородном плоском слое с однородным ламбертовым дном. Препринт № 7. М.: ИПМ АН СССР, 1986, 28 с.
3. Сушкевич Т.А., Стрелков С.А., Иолтуховский А.А. *Метод характеристик в задачах атмосферной оптики*. М.: Наука, 1990. 296 с.
4. Моисеев Н.Н. *Экология человечества глазами математика*. М.: Молодая гвардия, 1988. 254 с.

Численная модель светового ореола вокруг лазерного луча в атмосфере Земли в приближении двукратного рассеяния

Николайшвили Ш.С. (shota_nick@mail.ru), Ростомашвили З.И.
Институт физики АН Грузии, Тамарашвили 6, 380077 Тбилиси, Грузия

Смеркалов В.А. (Yury_Belikov@mail.ru)
Институт Прикладной Геофизики, Ростокинская .9, 129128 Москва, Россия

Построена численная схема расчета яркости светового ореола, образуемого вокруг лазерного луча в атмосфере Земли. Предполагается, что источник первичного излучения расположен на нижней границе атмосферы и направлен вертикально вверх. Представлены результаты расчета интенсивностей двукратно рассеянного излучения на различных расстояниях от первичного луча. Вычисления выполнены для чистой молекулярной атмосферы и для нескольких моделей атмосферы, содержащей аэрозольные примеси с разными оптическими параметрами. Приведены оценки погрешностей схемы в интегральной норме, которая легко вычисляется с большой точностью из решения соответствующей пространственно-одномерной задачи переноса.

Сравнение разностных схем метода дискретных ординат в решении задач переноса излучения в неоднородной трехмерной атмосфере

Крестьяникова М.А. (kresty_m@hotmail.com), Басс Л.П. (bass@kiam.ru), Кузнецов В.С.
Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Миусская пл. 4, 125047 Москва, Россия

В работе сравниваются различные алгоритмы решения уравнения переноса в трехмерно-неоднородной атмосфере, основанные на сеточном методе дискретных ординат и представлении интеграла столкновений суммой сферических гармоник. Сопоставление алгоритмов производится на тестовых однородных и неоднородных моделях среды, в том числе и для облачной атмосферы. Представленные алгоритмы позволяют моделировать поле излучения в среде с произвольным типом неоднородности и произвольным отражением от поверхности.

Модификация пуассоновской модели разорванной облачности для многослойных облаков

Журавлева Т.Б. (ztb@iao.ru)
Институт оптики атмосферы СО РАН, Академический 1, 634055 Томск, Россия

Пригарин С.М.
Институт вычислительной математики и математической физики СО РАН, пр. Ак. Лаврентьева 6, 630090 Новосибирск, Россия

Частичная облачность может присутствовать в атмосфере на различных атмосферных уровнях. Хотя наблюдения показывают, что наличие (отсутствие) облаков в пределах

различных облачных слоев может быть связано, в моделях атмосферы балл облачности предсказывается независимо в каждом слое без учета вертикальных связей между компонентами сложных облачных систем. Для улучшения согласия между экспериментально определенным и рассчитанным результирующим баллом облачности используются различные гипотезы вертикального перекрытия облаков – в большинстве случаев это гипотезы “максимального” и “случайного” перекрытия, а также их комбинация. Однако использование такого подхода оправдано при расчете радиационных характеристик, осредненных по площади, сравнимой с размерами сетки моделей общей циркуляции атмосферы (300–1000 км)². Для более детального изучения влияния вертикальной структуры на радиационные эффекты облаков следует развивать другие модели.

В данной работе рассматривается конструктивная модель многослойной разорванной облачности на основе пуассоновских потоков точек на прямых, которая является обобщением модели, предложенной Г.А. Титовым для однослойных облаков. Входными параметрами модели 1 являются:

- реализация пуассоновских потоков точек (x_i) и (y_i) с интенсивностями A_x и A_y по осям OX и OY – одна и та же в пределах каждого из M слоев;
- набор $(2M-1)$ параметров, включающий баллы облачности каждого слоя (p_m) , $m = 1, 2, \dots, M$, и условные вероятности наличия “облака над облаком” по отношению к одному из слоев (P_{mm*}) , $m = 1, 2, \dots, m^*-1, m^*+1, \dots, M$, (или условные вероятности наличия “облака над безоблачным промежутком” – (Q_{mm*})).

Исследованы вероятностные свойства модели 1. При фиксированных значениях (p_m) , $m = 1, 2, \dots, M$, вариации параметров (P_{mm*}) и (Q_{mm*}) , $m = 1, 2, \dots, m^*-1, m^*+1, \dots, M$, позволят получить семейство моделей с различными значениями результирующего балла облачности N . Минимальное и максимальное значение N совпадает с результирующим баллом M -слойной облачности для гипотез минимального и максимального перекрытия.

Для исследования особенностей переноса оптического излучения в M -слойной облачной атмосфере нами реализованы алгоритмы статистического моделирования для расчета средних потоков и угловых распределений солнечной радиации в двухслойных облаках. Чтобы оценить влияние коррелированности разорванных облачных слоев, мы сравнивали радиационные характеристики, рассчитанные в описанной выше модели 1 и модели 2, в которой облака в пределах каждого слоя строились независимо друг от друга, т.е. на основе различных реализаций пуассоновских потоков точек на прямых. Показано, что при фиксированном балле облачности в одном из слоев (p_1) и результирующем балле облачности (N) разница средних значений альбедо, нерассеянного и диффузного пропускания может быть существенной и достигать 0,1–0,2 для случаев, когда горизонтальные (D) и вертикальные размеры (H) облачных элементов соизмеримы $(H/D = 1)$. По мере уменьшения параметра H/D ($H/D \ll 1$ для слоистообразных облаков) влияние коррелированности облачных слоев на потоки излучения уменьшается.

Работа выполнена при частичной поддержке INTAS (грант “LIDAR multiple scattering from clouds including spherical and non-spherical particles”) и РФФИ (N 00–05–65456).

Модель переноса радиации метода Монте-Карло с расчетом интенсивностей, послойных воздушных масс и весовых функций, предназначенная для использования в обратных задачах атмосферной оптики

Постыляков О.В. (ovp@omega.ifaran.ru)

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

Решение большинства обратных задач атмосферной оптики основано на линеаризации уравнения переноса излучения по исследуемому параметру. Например, в Umkehr методе приходящее из зенита УФ излучение представляется линейно зависимым от отклонения

вертикального распределения озона от априорного среднего значения. Модель переноса излучения используется для оценивания интенсивностей радиации для нескольких зенитных углов и длин волн в точке линеаризации (т.е. при априорном содержании озона) и для оценивания производных по векторному параметру – вертикальному распределению озона. В иной терминологии такой набор производных называется весовыми функциями обратной задачи. Поэтому от модели переноса излучения, предназначенной для использования в обратных задачах, требуется способность эффективно вычислять не только интенсивности излучения, но и весовые функции.

Наиболее простой и часто применяемый подход к вычислению весовых функций основан на расчете интенсивностей для априорного распределения озона и для набора возмущенных профилей озона. Поэтому время расчета весовых функций оказывается пропорциональным числу слоев атмосферы, для возмущения в которых проводятся расчеты интенсивностей. Из-за продолжительного времени вычисления весовые функции в большинстве случаев оцениваются в приближении однократного рассеяния.

В описываемой модели применен новый подход к вычислению весовых функций. Введено понятие эффективной воздушной массы для атмосферы с многократным рассеянием. Показано, что при исследовании газового состава значение весовой функции на любой высоте пропорционально величине эффективной воздушной массы слоя атмосферы, лежащего на этой высоте. При расчетах методом Монте-Карло эффективная воздушная масса равна сумме длин пробега фотонов в выбранном слое, взвешенной с учетом энергии, приносимой фотоном на приемник излучения, отнормированной на толщину слоя и суммарную энергию, приносимую фотонами. Следовательно, величина воздушной массы слоя атмосферы показывает, во сколько раз по сравнению с толщиной слоя эффективно увеличивается путь света за счет наклонного и многократного прохождения слоя.

Для прямого излучения такое определение эквивалентно обычному понятию воздушной массы, а ее значение зависит от направления наблюдения и определяется зенитным углом солнца. При наблюдениях рассеянного излучения соотношение энергий, приносимых фотонами, приходящими к приемнику двумя различающимися траекториями зависит от длины волны. Поэтому эффективные воздушные массы слоев будут также зависеть от длины волны. Однако они не зависят от того, какую газовую компоненту мы собираемся восстанавливать. Сечение поглощения и концентрация газа в слое определяют коэффициент пропорциональности между значениями весовой функции в слое и его эффективной воздушной массой.

В описываемой модели метода Монте-Карло реализован эффективный алгоритм расчета эффективных воздушных масс. Время расчета одновременно интенсивностей и послойных воздушных масс возрастает всего на 20–50% по сравнению с расчетами только интенсивностей. Модель описывает перенос радиации в сферически симметричной атмосфере с учетом альбедо подстилающей поверхности. Модель написана на языке программирования C++, что позволило повторно использовать код в различных релизах программы. В виде шаблонов реализованы:

- две модели переноса излучения: скалярная и с учетом поляризации;
- несколько методов расчета интенсивности: метод сопряженных блужданий, двойная локальная оценка, прямое интегрирование для расчета однократного рассеяния, смешанные модели с расчетом однократного рассеяния прямым интегрированием, а многократного – Монте-Карло;
- две модели распределения компонент атмосферы между узлами сетки: постоянное значение и линейно меняющееся распределение.
- Релиз программы определяется фактическими аргументами шаблонов.
- Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 01–05–64546.

Математическая модель сумеречного зондирования аэрозоля при учете рефракции света

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

Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, пр. Ф.Скорины 70, 220072 Минск, Беларусь

В настоящее время значительное внимание уделяется анализу возможностей организации мониторинга земной атмосферы на основе метода сумеречного оптического зондирования. В атмосферной оптике при исследовании рассеянного солнечного излучения обычно принимается модель атмосферы в виде плоского слоя, освещенного потоком параллельных лучей. Однако, в связи с развитием теории сумеречного зондирования возникает необходимость рассматривать рассеяние света в атмосфере при строгом учете ее сферичности. Важное значение такой теории обусловлено тем, что надежная интерпретация оптических данных, получаемых наземными средствами и с орбитальных космических станций, может быть осуществлена только на основе строгого анализа, учитывающего кривизну атмосферных слоев и эффект искривления световых лучей вследствие рефракции. Сложности в преодолении математических трудностей, возникающих при таком анализе, компенсируются возможностью получить решения ряда задач атмосферной оптики, практически неосуществимых другими способами.

В основе теории рефракции лежит дифференциальное уравнение, описывающее изменение направления луча при распространении в среде с переменным показателем преломления. Учет рефракции в задаче о рассеянии света в сферической атмосфере приводит к уравнению переноса излучения (УПИ) [1], которое отличается от соответствующего уравнения в предположении прямолинейного распространения света рефракционным множителем в дифференциальном операторе, изменениями функции источников и функции, выражающей распределение интенсивности вдоль криволинейной траектории луча в среде с переменным показателем преломления. Учет этих факторов в задаче о переносе излучения в сферической атмосфере приводит к существенным осложнениям ее решения. С целью упрощения уравнения переноса проведен его тензорный анализ в криволинейных координатах. В результате разделены структурные элементы, определяющие геометрию координатной системы и физический эффект рефракционного искривления световых лучей [2]. Показано, что формула УПИ включает выражения частных производных вектора направления по криволинейным координатам, образующих характеристическую матрицу. Задание закона распределения показателя преломления света в атмосфере выражается в появлении отличных от нуля фиксированных элементов матрицы, ответственных за рефракционное искривление лучей. Для задачи сумеречного зондирования атмосферы строго обоснован вывод о том, что учет рефракции света можно осуществить путем изменения тех элементов матрицы, которые определяют геометрические свойства используемой координатной системы, образно говоря, путем ее деформации соответственно распределению показателя преломления. Дифференциальный оператор УПИ в деформированных координатах преобразуется в соответствующее выражение, явно не включающее рефракционных членов.

Функция источников УПИ при учете рефракции определяется интегральным выражением, которое содержит вектор направления солнечного луча в фиксированной точке пространства, не совпадающий вследствие искривления траектории с первоначальным направлением луча на верхней границе атмосферы. Оптическое расстояние, от которого зависит интенсивность солнечного луча в этой точке, выражается интегралом по его криволинейной траектории. Оказалось, что в деформированных координатах эти выражения приобретают вид, соответствующий прямолинейному распространению света. Таким образом, показано, что в схеме сумеречного зондирования атмосферы отпадает необходимость формально описывать реальную рефракционную кривизну световых лучей,

поскольку она может быть учтена посредством соответствующей деформации системы координат.

Перенос солнечного излучения в сферической атмосфере с рефракцией рассмотрен для случая зависящей от высоты индикатрисы рассеяния света в виде средневзвешенной функции молекулярной и аэрозольной компонент. Разложение индикатрисы проводилось с использованием модифицированных сферических гармоник, построенных в результате перехода от бесконечной системы полиномов Лежандра к конечному ортогональному базису G-полиномов. Решение найдено в виде конечного ряда в классе функций, принадлежащих гильбертову пространству. Разработанная математическая модель позволяет проводить расчеты яркости рассеянного излучения для различных схем наблюдения небосвода, сумеречного и дневного горизонтов Земли при вариации параметров аэрозоля.

1. Минин И.Н. Теория переноса излучения в атмосферах планет. М.: Наука, 1988. 264 с.

2. Гаврилович А. Б. Новый способ учета рефракции в уравнении переноса излучения для сферической модели атмосферы. // Оптика атмосферы и океана. 2002. Т. 15. №2. С.152–156.

Оптические свойства горизонтально неоднородной облачности

Кохановский А.А.

Институт физики окружающей среды, Бременский Университет, 28334 Бремен, Германия

Институт физики Национальной Академии наук Беларуси, пр. Скорины 70, 220072 Минск, Республика Беларусь

Оптические свойства облаков представляют значительный интерес с точки зрения проблем климата и погоды. В большинстве теоретических работ делается предположение о горизонтальной однородности облачной среды, что на самом деле не соответствует реальности. Статистическое моделирование, основанное на методах Монте-Карло, чрезвычайно важное с точки зрения решения прямой задачи, оказывается малоэффективным при решении обратных задач оптики облаков.

В связи с этим, проблема разработки аналитических методов в оптике горизонтально неоднородной облачности представляется весьма актуальной.

Данная работа основана на систематическом применении асимптотических результатов теории переноса излучения, справедливых для оптически толстых облаков, к случаю горизонтально неоднородной облачности. Все рассмотрение проводится в пренебрежении горизонтальным переносом фотонов. Данное условие позволяет представить коэффициент яркости горизонтально неоднородной облачности как среднее значение этой величины по статистическому распределению оптических толщин. Развиваемый подход позволяет установить связи между статистическими характеристиками случайных полей яркости и толщи облаков, что представляет значительный интерес для приложений.

Найдено, что горизонтальная неоднородность облаков приводит к росту их поглощательной способности, что вносит вклад в так называемый эффект аномального поглощения света в облаках.

Приложение общих соотношений инвариантности к отысканию характеристик полей излучения в дисперсных средах различной конфигурации

Роговцов Н.Н. (nrogovtsov@bspa.unibel.by)

Белорусский национальный технический университет, Ф.Скорины 65, 220027 Минск, Республика Беларусь

Оптические свойства реальных и модельных дисперсных сред (тел), а также их границ, весьма разнообразны и существенно влияют на закономерности многократного рассеяния света (процесса переноса излучения). Важной проблемой теории переноса излучения является представление этих закономерностей в полуаналитическом и аналитическом видах. При этом существенный интерес для оптики дисперсных сред имеют такого рода

представления для случая многомерных задач, причем без каких-либо жестких ограничений, накладываемых на индикатрису рассеяния. Многомерность же зачастую порождается сложностью конфигурации системы дисперсная среда – источники излучения. Одним из наиболее эффективных методов для решения различных аспектов указанной проблемы является подход, основанный на использовании узкой и расширенной формулировок общего принципа инвариантности (Н.Н. Роговцов, 1981 г. и 1999 г.) и его следствий, называемых общими соотношениями инвариантности (GIR) . Данные GIR связывают между собой решения (в частности, функции Грина) однотипных или различных краевых задач для уравнения переноса излучения (RTE). Посредством выбора соответствующих пар таких задач и анализа структуры (GIR) можно получать точные, асимптотические и приближенные выражения, а также неравенства, для характеристик полей излучения в дисперсных средах различной конфигурации.

В докладе будет изложена схема применения указанного подхода для случая монохроматического рассеяния и однородных дисперсных тел невогнутой формы. Будет приведен ряд новых неравенств, асимптотик, асимптотических неравенств для интенсивностей излучения, средних чисел рассеяния фотона, средних времен свечения, потоков излучения и некоторых других величин. Будет произведена их конкретизация в рамках определенных ограничений, накладываемых на форму дисперсных сред, типы источников, альбеда однократного рассеяния и оптические размеры тел. Все аналитические формулы и неравенства были получены посредством использования GIR и точных представлений функций Грина стационарного RTE для случая однородной бесконечной плоскопараллельной среды. Они справедливы, по крайней мере, для любых индикатрис рассеяния, удовлетворяющих условию Гельдера.

Хотя подход, основанный на GIR, применим для излучения закономерностей многократного рассеяния света в дисперсных средах сложной формы, его использование становится более эффективным, если конфигурация системы среда – источники обладает какой-либо содержательной симметрией. Для иллюстрации этого факта в докладе будет приведен ряд асимптотик и асимптотических неравенств для характеристик полей излучения в дисперсных средах, имеющих форму шара, сфероида, прямого кругового цилиндра, куба, октаэдра и икосаэдра. Полученные аналитические выражения и неравенства позволяют выявить в явном виде влияние оптических размеров тел, альбеда однократного рассеяния и параметров индикатрисы рассеяния на закономерности многократного рассеяния света в указанных дисперсных средах. Эти результаты могут быть применены в качестве тестов при апробации численных методов решения многомерных краевых задач для RTE и при установлении несмещенности или смещенности оценок, используемых в методе Монте-Карло.

Асимптотические характеристики облаков с учетом поляризации

Коновалов Н.В. (knv@kiam.ru)

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

Исследованы некоторые свойства радиационных полей, формируемых в облачных образованиях, с учетом поляризации излучения. Представлены результаты расчетов асимптотических характеристик коэффициентов отражения и пропускания оптически плотного облачного слоя с учетом поляризации (векторная задача) для модели облака С1, характеризующейся сильной анизотропией рассеяния. Исследована зависимость сферического альбеда полубесконечного облака от альбеда однократного рассеяния. Также приведены результаты аналогичных расчетов для модели облака С1 без учета поляризации (скалярная задача). Проведен сравнительный анализ полученных численных данных для векторной и скалярной задач.

Перенос поляризованного света в рассеивающих средах с крупными частицами

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

Объяснение природы поляризационных явлений при многократном рассеянии света до сих пор остается актуальной задачей в связи с приложениями в дистанционном зондировании атмосферы и океана. Сравнительно недавно в экспериментах [1,2] и в расчетах методом Монте–Карло [2] было показано, что при рассеянии в средах с крупными (размер больше длины волны) неоднородностями линейно поляризованный свет деполаризуется почти одновременно с изотропизацией потока излучения, а циркулярная поляризация может сохраняться даже после изотропизации. Качественное объяснение причин этого явления было дано в [3].

Имеются два фундаментальных механизма деполаризации света в рассеивающей среде [3,4]. "Геометрический" механизм обусловлен вращением Рытова – поворотом плоскости поляризации вместе со световым лучом. Наблюдаемая при многократном рассеянии деполаризация есть результат сложения поляризаций лучей, двигавшихся вдоль различных случайных траекторий. "Динамическая" деполаризация обусловлена различием амплитуд однократного рассеяния волн, поляризованных параллельно и перпендикулярно плоскости рассеяния.

Для линейно поляризованного света действуют оба механизма деполаризации. В зависимости от характеристик рассеивающих неоднородностей "геометрический" механизм может быть доминирующим или играть роль того же порядка, что и "динамический" механизм. Деполаризация циркулярно поляризованного света происходит только за счет "динамического" механизма. В средах с крупномасштабными неоднородностями, когда однократное рассеяние происходит преимущественно на малые углы, "динамический" процесс становится заметным только на расстояниях, превышающих длину изотропизации (т.е. транспортную длину). Именно это обстоятельство объясняет различия в затухании линейно и циркулярно поляризованных волн.

В настоящей работе разработан приближенный метод решения векторного уравнения переноса, в основе которого лежит предположение о резкой анизотропии однократного рассеяния. Многократное рассеяние света в этом случае можно рассматривать в первом приближении как распространение трех не взаимодействующих между собой мод – линейно и циркулярно поляризованных мод и интенсивности. Каждая мода описывается своим скалярным уравнением переноса. Значения основных мод определяют наблюдаемую на опыте деполаризацию проходящего через среду поляризованного света. В следующем приближении нужно учитывать "межмодовое взаимодействие", которое приводит к возбуждению дополнительных мод – "обертонов".

Указанная схема приближенного решения векторного уравнения переноса применяется нами для вычисления параметров Стокса света, рассеянного в монодисперсной среде со сферическими рассеивателями (пример такой среды – часто используемая в экспериментах суспензия частиц латекса в воде). Расчеты проведены для двух предельных режимов распространения света в среде – пространственной диффузии и малоуглового многократного рассеяния. Найдены приближенные решения, которые позволяют связать скорость деполаризации пучка с характеристиками матрицы однократного рассеяния среды и количественно подтверждают результаты [1,2]. Показано, что для сферических рассеивателей большого радиуса геометрическая деполаризация всегда доминирует над динамической.

1. MacKintosh F.C., J.X. Zhu, D.J. Pine, D.A. Weitz. *Phys.Rev.*, **B40**, 1989, 9342.
2. Bicout D., C. Brosseau, A.S. Martinez, J.M. Schmitt. *Phys.Rev.*, **E49**, 1994, 1767.
3. Городничев Е.Е., Кузовлев А.И., Рогозкин Д.Б. *Письма в ЖЭТФ*, **68**, 1998, 21.
4. Gorodnichev E.E., Kuzovlev A.I., Rogozkin D.B. *Laser Phys.*, **9**, 1999, 1210.

Решение векторного уравнения переноса излучения в малоугловом приближении

Будак В.П. (boudak@online.ru), Векленко Б.Б.

Московский энергетический институт (ТУ), Красноказарменная 14, светотехника, 111250 Москва, Россия

Существующие методы решения векторного уравнения переноса излучения (ВУПИ) не позволяют с приемлемой для практики точностью определять поляризацию светового поля узких пучков света в средах с сильно анизотропным рассеянием. Метод сферических гармоник (СГ), даже с учетом выделения в решении прямой составляющих, в этом случае является некорректной задачей, что с увеличением степени анизотропии рассеяния неизменно приводит к сильной осцилляции решения. Различные формы малоуглового приближения (МУП) в решении ВУПИ используют представление о сильной анизотропии рассеяния, что позволяет заменить интеграл рассеяния на интеграл свертки, но при этом матрица рассеяния диагонализируется, что позволяет описывать ослабление состояний поляризации, но не их взаимное преобразование и генерацию в среде.

Малоугловая модификация метода СГ (МСГ) для случая плоского мононаправленного источника, основана на идее гладкости спектра разложения параметров поляризации в представлении по циркулярному базису в ряд по обобщенным сферическим функциям для сильно анизотропного рассеяния. Это позволяет допустить непрерывную зависимость углового спектра поляризационных параметров от номера гармоники и разложить ее в ряд с сохранением двух первых членов, что сводит систему обыкновенных дифференциальных уравнений метода СГ к одному уравнению в частных производных, допускающему аналитическое решение. Такой подход сохраняет полную матрицу рассеяния и пренебрегает только обратным рассеянием и дисперсией путей рассеянных фотонов, а из него следуют все известные формы МУП. Однако МСГ развита только для случая плоской геометрии.

В случае освещения мутной среды точечным мононаправленным источником неполяризованного света решение зависит от 4 параметров: расстояния между излучателем и приемником r , двух углов, образованных линией, соединяющей источник с приемником, с направлением излучения α и осью визирования β и двугранного угла φ , образованного плоскостями, проходящими через указанные линии. Решение в циркулярном базисе с учетом теоремы оптической взаимности и законов преобразования поляризации представляется в виде двойного ряда – по сферическим функциям от углов (α , φ) и обобщенным сферическим функциям от углов (β , φ), которым соответствуют индексы суммирования (l , m , k), что приводит к известной системе уравнений метода СГ.

Данную систему можно упростить, если рассматривать искомые коэффициенты ряда, зависящие от индексов (l , m , k), как спектр Фурье некоторой функции, зависящей от двух векторных индексов ($\mathbf{l}$, $\mathbf{k}$), по азимутальному углу между ними. Развивая идеи МСГ, допустим плавную непрерывную зависимость новой функции от векторных индексов, и ее разложим в ряд Тейлора с сохранением двух первых членов. Этот подход также приводит к одному уравнению в частных производных, допускающему аналитическое решение.

Форма решения в виде двойного ряда по сферическим функциям затруднительна для анализа, однако, для оптических глубин, когда индикатриса рассеяния становится более острой функцией угла, чем поляризационные параметры (диффузионное приближение), ей можно придать простой аналитический вид гауссоиды. Анализ последнего выражения показывает, что степень поляризации рассеянного излучения имеет минимум в направлении визирования на максимум яркости, известном из решения скалярного уравнения, что соответствует закону Умова.

Аналитическая форма решения в виде ряда по сферическим функциям позволяет легко его уточнить, находя разницу с точным методом СГ. Поскольку особенности и анизотропная часть решения по углам определены МСГ, то разница является гладкой функцией, что

устраняет осцилляцию в решении методом СГ при любой степени анизотропии рассеяния: практическая реализация алгоритма требовала учета не более 21 члена.

Исследование проблемы пространственно углового распределения полей поляризованного излучения на основе принципа зеркальной симметрии

Аниконов А.С., Смоктий О.И. (soi@aspid.nw.ru)

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, 14 линия 39, 199178 Санкт-Петербург, Россия

Рассмотрена проблема трансформации свойств пространственно-угловой симметрии поля поляризованного излучения при элементарном процессе рассеяния и при многократном рассеянии света в плоском однородном слое конечной оптической толщины. Показано, что использование принципа зеркальной симметрии полей поляризованного излучения в случае плоского однородного слоя [1] позволяет более рационально сформулировать математический аппарат классической теории переноса излучения на основе новых понятий – поляриметрических инвариантов и единой поляриметрической функции поля излучения. Для рассмотрения проблем зеркальной симметрии используются Фурье-анализ и специальное Фурье-разложение матриц Стокса, характеризующих поле многократно рассеянного поляризованного излучения. При этом предполагается, что фазовые матрицы рассеяния и законы анизотропного отражения света от подстилающих поверхностей обладают свойствами азимутальной симметрии. Дано сравнение структуры основной краевой задачи теории поляризованного излучения и альтернативных ей линейных (сингулярных и фредгольмовских) интегральных уравнений в классическом случае и при использовании принципа зеркальной симметрии.

1. Smokty O.I. Development of radiative transfer theory method on the basis of mirror symmetry principle. *IRS 2000: Current problems in atmospheric radiation.* (W.I.Smith and Yu.M. Timofeyev Eds.) A Deepak Publishing, Hampton, Virginia, 2001, pp.341–345.

Аналитическое решение уравнения переноса излучения в пятимерном фазовом объеме с произвольной индикатрисой рассеяния

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

Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, пр. Ф.Скорины 70, 220072 Минск, Беларусь

После получения уравнения переноса излучения (УПИ) начались систематические исследования, направленные на разработку аналитических методов его решения [1]. Они стимулировались необходимостью решения практически важных задач в различных областях астрофизики, газовой динамики, ядерной энергетики, атмосферной оптики, гидрооптики, оптики дисперсных сред и др. Основная трудность, которая считается непреодолимой при попытках аналитического решения УПИ, как известно, связана с необходимостью учитывать бесконечно большое число членов в разложении индикатрисы рассеяния по полиномам Лежандра [2]. Желание преодолеть это препятствие привело к развитию численных и приближенных аналитических методов, таких, например, как диффузионное приближение, малоугловое диффузионное приближение, P_n -приближение метода сферических гармоник и др., учитывающих лишь несколько первых членов ряда. Учет большого числа элементов приводит к сильным усложнениям теории и, как следствие, к необходимости усечения ряда. Поэтому метод сферических гармоник относят к классу приближенных методов. Обычно считают, что оператор переноса не имеет полной системы собственных функций и решение УПИ требует привлечения аппарата сингулярных

собственных функций [3] или системы азимутальных гармоник [2]. В данной работе реализован аналитический метод решения УПИ, идея которого состоит в переходе от бесконечной системы полиномов Лежандра к конечному ортогональному базису G-полиномов, удовлетворяющему условию полноты.

Рассмотрена задача о переносе излучения в пятимерном фазовом объеме. Монохроматический пучок света нормально падает на трехмерный по пространству объем дисперсной среды. Индикатриса рассеяния света в общем случае может быть произвольной. Объем выбран в форме прямоугольного параллелепипеда, ориентированного по осям декартовой системы координат. Выбор системы координат определяется геометрией среды. Граничные условия выражают отсутствие рассеянного излучения, падающего извне на границу. Рассматривается интенсивность диффузного излучения в зависимости от трех пространственных и двух угловых координат, определяющих направление луча. Метод сферических гармоник на базе полиномов Лежандра, применяемый для решения классических уравнений математической физики, в данном случае не дает желаемых результатов.

Построение замкнутой конечной системы ортогональных функций на базе G-полиномов основывается на использовании свойств линейного уравнения переноса. В качестве исходной выбирается система независимых функций, определенным образом согласованная с особенностями ядра УПИ. Посредством линейных преобразований строятся вспомогательные функции в виде линейной комбинации исходных и выполняется их ортогонализация. Затем выполняется операция нормирования и рекуррентным способом находится искомая система G-полиномов. Такой алгоритм использован для вывода явных выражений G-полиномов, ортогональных в интервале $[-1, +1]$, которые применялись для разложения индикатрисы рассеяния. Полученные выражения в частном случае двучленной индикатрисы [2] совпадают с первыми полиномами Лежандра. Возможность аналитического решения УПИ при использовании G-полиномов проверена выполнением равенства Парсеваля-Стеклова (условия полноты). Таким образом, показано, что для точного представления индикатрисы рассеяния рядом вполне достаточно небольшого числа коэффициентов разложения по G-полиномам. Для сравнения отметим, что для достижения довольно точного представления типичной аэрозольной индикатрисы рассеяния требуется более четырехсот полиномов Лежандра [4].

На базе G-полиномов построено замкнутое множество модифицированных функций, ортогональных по полярному и азимутальному углам на сферической поверхности. Они применялись для разложения в ряд интенсивности и функции источников. Подобным же образом проведена модификация гармоник на плоскости XOY . В результате получена согласованная система ортогональных функций, которая применена для разложения и преобразования УПИ к обыкновенному дифференциальному уравнению, допускающему аналитическое решение. Показано, что выполненная в работе модификация метода сферических гармоник при решении уравнения переноса излучения переводит его из приближенных в разряд точных аналитических методов.

1. Иванов В.В. Столетие интегрального уравнения переноса. В сб. "Рассеяние и поглощение света в природных и искусственных дисперсных средах". Под ред. А. П. Иванова. Минск, 1991.
2. Соболев В.В. *Рассеяние света в атмосферах планет*. М.: Наука, 1972, 335 с.
3. Кейз К., П. Цвайфель. *Линейная теория переноса*. М.: Мир, 1972, 384 с.
4. Гаврилович А.Б., В.И. Бычек. Разложение элементов матрицы рассеяния света атмосферной дымки по обобщенным сферическим функциям. *Оптика атмосферы и океана*, 1996, 9, 10, 1319–1325.

Транспортировка излучения через аэрозольные образования из лазерных люминофоров

Колеров А.П.

ГП "Всероссийский НИИ физико-технических радиотехнических измерений", 141570 п. Менделеево, Моск. обл., Россия

Распространение излучения в приземном слое атмосферы неизбежно сопровождается ослаблением интенсивности потока, обусловленным поглощением, отражением и рассеянием в газах и гетерогенных аэрозольных частицах, имеющих различную химическую природу. Вклад газовой среды в ослабление интенсивности излучения можно учесть, исходя из данных об “окнах прозрачности” атмосферы. Наличие же и постоянное присутствие аэрозольных образований в приземной атмосфере требует знания большого массива данных (размер, концентрация, химсостав аэрозолей и др.) для учета вклада гетерогенной среды в ослабление интенсивности потока излучения при его транспортировке на большие расстояния.

В настоящем сообщении приводятся результаты исследований вклада в интегральное ослабление световых сигналов (лазерная дальнометрия, лидарное зондирование и др.) за счет аэрозолей (естественного или искусственного происхождения), материал которых относится к классу лазерных люминофоров (ЛЛ), обладающих метастабильными энергетическими уровнями.

Расчетным путем произведена оценка вклада гетерогенных аэрозольных образований (АО) из ЛЛ (органические красители, щелочногаллоидные кристаллы с центрами окраски и др.) в величину спектрального поглощения и спектральную люминесцентную конверсию со Стоксовским смещением, значения которых в общей величине ослабления интенсивности излучения на облучаемом объекте, в ряде случаев, может превышать величину ослабления за счет рассеяния и отражения.

Приводятся разработанные технологии приготовления и создания искусственных АО из ЛЛ на базе органических красителей, кристаллов с центрами окраски и др. Предлагаются для обсуждения примеры создания искусственных гетерогенных АО из ЛЛ для атмосферной диагностики, приводятся данные, позволяющие определять концентрацию и спектр размеров частиц (с заданными оптическими и физико-химическими характеристиками) по измеренным интенсивностям люминесцентного излучения от аэрозолей после их облучения светом внешнего источника.

Рассматривается возможность создания стандартных образцов (СО) аэрозольных образований с фиксированной (заданной) концентрацией и спектром размеров частиц, методика калибровки и экспериментальная установка для их паспортизации в большом динамическом диапазоне размеров (пять – шесть порядков). Предлагаются примеры применения АО из ЛЛ для лазерной физики, исследований эффективности мелкодисперсных фильтров, маскировки и защиты летательных аппаратов от поражения высокоинтенсивными источниками электромагнитного излучения и потоками корпускулярных частиц. Рассмотрены также возможные практические приложения АО из ЛЛ для научных и прикладных задач.

Коэффициент отражения излучения оптически плотных слоев

Коновалов Н.В. (knv@kiam.ru)

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

Рассматриваются свойства коэффициента отражения (яркости) полубесконечного однородного плоского слоя при пологих углах падения внешнего излучения и условий наблюдения. Предложена аппроксимационная формула для коэффициента отражения, описывающая азимутальную структуру отраженного слоем излучения, для произвольных

углов освещения и наблюдения. Приведем численный материал, подтверждающий работоспособность этой формулы для не сильно анизотропной индикатрисы рассеяния.

Также предложен метод решения обратной задачи по восстановлению индикатрисы рассеяния и альбедо однократного рассеяния по отраженному от слоя излучению. Приведены результаты численного эксперимента, позволяющие оценить точность восстановления указанных параметров.

Сравнение послойных воздушных масс и весовых функций обратной задачи, рассчитанных по моделям переноса излучения, используемым для интерпретации наземных и спутниковых измерений

Постыляков О.В. (ovp@omega.ifaran.ru)

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

Розанов А.В.

Институт дистанционного зондирования, Университет Бремена, Бремен, Германия

Валидация спутниковых измерений содержания малых газов в атмосфере с использованием наземных наблюдений предполагает, что используются взаимно согласованные математические модели двух экспериментов. Основой построения математической модели эксперимента является теория переноса излучения в атмосфере. По модели переноса выполняются расчеты интенсивностей излучения, измеряемого прибором, и так называемые весовые функции, которые в линейном приближении описывают связь измеряемого излучения с исследуемыми распределениями газов в атмосфере и используются при построении алгоритмов восстановления. Значение весовой функции на любой высоте пропорционально величине эффективной воздушной массы слоя атмосферы, лежащего на этой высоте. (В зависимости от модели атмосферы могут рассматриваться плоские или сферические слои). Величина воздушной массы слоя атмосферы показывает, во сколько раз по сравнению с толщиной слоя эффективно увеличивается путь света за счет наклонного и многократного прохождения слоя в результате рассеяния.

В работе выполнено сравнение весовых функций и послойных воздушных масс, рассчитанных с использованием двух моделей переноса, которые учитывают многократное рассеяние, сферичность атмосферы и отражение от поверхности Земли. Одна модель – модель метода Монте-Карло, которая используется для интерпретации измерений озона методом обращения и сумеречных наблюдений NO₂ [1]. Другая модель – CDIPI – основана на решении интегрального уравнения переноса излучения в сферической атмосфере итерационным методом. Модель была разработана для обработки измерений рассеянного солнечного излучения на касательных трассах проводимых с помощью спутниковой аппаратуры SCIAMACHY [2]. Для сравнения моделей была выбрана геометрия наблюдения лимба Земли с космического аппарата, т.к. весовые функции в такой геометрии имеют высокое высотное разрешение и позволяют выявить особенности схем расчета переноса радиации.

Расчеты были выполнены на длинах волн 325 нм, 345 нм и 600 нм для геометрии, соответствующей эксперименту SOLSE-LORE в полете Шаттла STS-87 [3]: в точке перигея линии визирования зенитный угол Солнца 39,29 градусов, азимут между направлениями на Солнце и космический аппарат – 111,75 градусов. Прицельные высоты направления наблюдения менялись в диапазоне от 10 до 60 км. При расчетах атмосфера разбивалась на слои толщиной в 1 км до высоты 100 км.

По результатам сравнений можно выделить три основные области атмосферы, в которых по-разному проявляются особенности алгоритмов расчетов послойных воздушных масс (ВМ) и их точности. (1) Первая область расположена на 2 слоя выше прицельной высоты. Отличие расчетов по двум моделям в этой области не превышало 1%. В этой

области ВМ слоев принимают большие значения (как правило от 40 до 8 уменьшаясь с высотой). Вклад однократного рассеяния в ВМ преобладает. (За исключением слоев в нижней стратосфере на 325 нм). (2) Вторая область расположена ниже прицельной высоты. В этой области величина ВМ слоя полностью определяется многократным рассеянием. Типичные значения ВМ составляют 1,8–2,2, в видимой области их величина возрастает до 3,8 в тропосфере. Хотя абсолютное отличие ВМ двух методов расчетов сохраняется, относительное отличие для некоторых высот достигает 30%. Однако необходимо отметить, что на точности восстановления такое отличие должно сказываться значительно меньше из-за малых значений ВМ во второй области. (3) Третья область – два слоя, расположенных выше прицельной высоты h_0 . В отсутствии сильного поглощения в вышележащих слоях величина ВМ в ней быстро меняется с высотой h , примерно, как $1/\sqrt{(h-h_0)}$. Поэтому величина ВМ в этой области сильно зависит от алгоритма вычисления и его реального разрешения. Для этой области необходимо обратить особое внимание на согласованность разрешения алгоритма с разрешением измерительного прибора. Типичные значения ВМ для этой области 60–80. Отличие усредненных по двум слоям ВМ составило до 1,5%. Исключение в третьей зоне составляют ВМ на 325 нм на высотах ниже максимума озона. Сильное озонное поглощение приводит к преобладанию многократного рассеяния, низким значениям ВМ (2,5–7) и плавному изменению с высотой величины ВМ. В результате уменьшается влияние разрешения алгоритма вычисления ВМ и увеличивается относительное отличие.

Работа выполнена при поддержке гранта INTAS–IESA 99–1511.

1. 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.
2. Rozanov A., V. Rozanov, and J. P. Burrows. A numerical radiative transfer model for a spherical planetary atmosphere: Combined differential-integral approach involving the Picard iterative approximation, J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer, 69, 2001, 513–534.
3. Oikarinen L., E. Griffioen, R. Loughman, O. Postylyakov, A. Rozanov. Comparison of radiative transfer models for limb-viewing scattered sunlight measurements. Eos Trans. AGU, 82(47), Fall Meet. Suppl., Abstract A21B-0067.

Поляризационные характеристики рассеянного оптического излучения от точечного источника в атмосфере

Пузанов Ю.В. (arustamov_A@mail.ru)

Московское научно-производственное объединение “Радон”, Сергиев Посад-7, Московской обл., Россия

Разработана методика расчета поля оптического излучения в условиях приземной трассы распространения от точечного изотропного источника. Методика позволяет учесть трехмерность рассеивающей среды, локальные неоднородности атмосферы и подстилающей поверхности, нестационарность источника. Расчеты поляризационных характеристик проводились в приближении однократного рассеяния. Угловые распределения степени поляризации излучения от точечного источника в целом отличаются от солнечного, хотя в них также существуют нейтральные точки Брюстера, Бабиня и Араго. Степень поляризации растет с увеличением расстояния до источника. Заревый сегмент, в отличие от солнечного, сильно поляризован (до 0,7–0,8). С увеличением альбедо подстилающей поверхности степень поляризации в зените уменьшается, а в области заревого сегмента – увеличивается, в противоположность солнечному. В области заревого сегмента в зависимости от состояния облачности плоскость поляризации имеет либо концентрическое, либо радиальное распределение с общим центром в направлении на источник. Независимо от облачности существует область телесного угла, в которой плоскость поляризации имеет концентрическое распределение. Установлено явление дисперсии степени поляризации для

точечного источника в земной атмосфере. Степень поляризации имеет глубокий минимум в области длин волн 0,8–1,0 мкм. На расстояниях свыше 20 км от источника, кроме этого минимума, степень поляризации имеет также максимум в области длин волн 0,45–0,55 мкм. Дана физическая интерпретация эффекта. Обнаружен эффект скачкообразного поворота плоскости поляризации короткоимпульсного рассеянного излучения в молекулярно-аэрозольной слоистой среде. На основе эффекта дано простое объяснение происхождению и свойствам нейтральных точек. Именно, нейтральные точки возникают по направлениям визирования, для которых выполняется условие оптического равновесия между аэрозольной и молекулярной фракциями рассеивающей среды с учетом весовых коэффициентов:

$$\int_0^{\infty} \left[\sigma^M(\alpha, x) \Gamma_{12}^M(\alpha) + \sigma^A(\alpha, x) \Gamma_{12}^A(\alpha, x) \right] \frac{e^{-(\sigma^M + \sigma^A)x}}{x^2} dx = 0,$$

где $\sigma^{M,A}$ – молекулярный и аэрозольный показатели ослабления вдоль направления визирования, составляющего угол α с направлением на источник; $\Gamma_{12}^{M,A}$ – внедиагональные элементы молекулярной и аэрозольной матриц рассеяния.

Установлено, что амплитудно-временные характеристики сигнала от короткоимпульсного источника, т.е. импульсная характеристика трассы распространения, существенно зависят от состояния поляризации регистрируемого излучения. Показано, что время наступления максимума степени поляризации связано прямой пропорциональностью с дальностью до импульсного источника. Установлены соотношения между временными характеристиками степени поляризации и оптико-геометрическими условиями наблюдения излучения.

Принцип зеркальной симметрии полей поляризованного излучения природных сред

Смоктый О.И. (soi@aspid.nw.ru)

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, 14 линия 39, 199178 Санкт-Петербург, Россия

Сформулирован принцип зеркальной пространственно-угловой симметрии полей излучения природных сред в случае их плоской геометрии и учете поляризации многократно рассеянного света в системе «атмосфера–подстилающая поверхность». Согласно этому принципу объединение исходного поля поляризованного излучения природной среды и его зеркального отображения, включающего зеркальные отображения источников излучения и пространственного распределения оптических параметров среды, обладает свойством инвариантности на зеркально симметричных оптических уровнях и в зеркальных направлениях визирования при замене исходного поля поляризованного излучения на его зеркальное отображение в исходной системе координат. Сформулированный принцип позволяет описать поле поляризованного излучения плоского однородного слоя с помощью единой поляриметрической функции, основанной на новом понятии теории переноса излучения – поляриметрическом инварианте поля поляризованного излучения. Полученные результаты являются обобщением принципа зеркальной симметрии, сформулированного в случае скалярных полей излучения природных сред [1].

1. Smokty O.I. Development of radiative transfer theory method on the basis of mirror symmetry principle. *IRS 2000: Current problems in atmospheric radiation*. (W.I.Smith and Yu.M. Timofeyev Eds.) A Deepak Publishing, Hampton, Virginia, 2001, pp.341–345.

СЕКЦИЯ 2. РАДИАЦИОННАЯ КЛИМАТОЛОГИЯ

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

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

Потоки солнечного излучения в безоблачной атмосфере: расчеты и наземные измерения в различных регионах

Рублев А.Н. (rublev@imp.kiae.ru), Трембач В.В.

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

Чубарова Н.Е., Улюмджиева Н.Н.

Метеорологическая обсерватория, Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Воробьевы Горы, 119899 Москва, Россия

Горчаков Г.И. (gengor@omega.ifaran.ru)

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

За последние несколько лет известная проблема "аномального облачного поглощения" – завышение оценок среднесуточного поглощения солнечного излучения (СИ) на 15–30 Вт/м² по данным натурных измерений по сравнению с результатами климатических моделей – постепенно трансформировалась в "аномальное атмосферное поглощение". Как было показано в ряде работ, это завышение слабо зависит или не зависит вовсе от балла облачности. Данный вывод упрощает поиск возможных источников расхождений и позволяет проводить его в условиях безоблачной атмосферы, когда параметры атмосферы надежно определяются сопутствующими измерениями.

Одной из наиболее вероятных причин аномального поглощения является неудачная или устаревшая параметризация характеристик переноса в радиационных блоках климатических моделей. Точные расчеты с детальным учетом всех аспектов распространения СИ в земной атмосфере обычно дают гораздо лучшее совпадение с натурными измерениями. Например, для радиационной модели, разработанной в «Курчатовском институте», расхождение в среднесуточном поглощении, полученное путем пересчета невязок с данными измерений в Оклахоме (1994–1995 гг.) и Москве (1995–1996 гг.), не превышало 3 Вт/м². Отметим, что и теоретические оценки солнечного поглощения (24–28% от потока, падающего на верхнюю границу атмосферы), выполненного при помощи этой модели для различных условий атмосферы, хорошо совпали с оценкой (25%) атмосферного поглощения, полученной на основе статистической обработки данных спутниковых и наземных измерений.

Из физических причин возможных расхождений между измерениями и строгими расчетами, можно выделить неточное определение параметров атмосферы и ее изменчивость, наличие важных факторов, неучтенных в модели, ошибки в измерениях и калибровках актинометрических приборов. Для оценки степени их влияния была проведена новая серия сравнений измерений и расчетов солнечных потоков нисходящего СИ в безоблачных условиях. Для сравнений были отобраны около 70 сеансов, включающих данные Метеорологической обсерватории (МО) МГУ и трех станций американской программы ARM: SGP (Оклахома), TWP (тропики, Науру) и NSA (Аляска, Барроу). Атмосферные параметры (оптическая толщина и показатель Ангстрема аэрозоля, общее содержание диоксида азота NO₂ и водяного пара) определялись по спектральным измерениям американской аэрозольной сети AERONET, которые были доступны для всех пунктов измерений.

Расчеты проводились с помощью упоминавшейся ранее модели, в которую был введен дополнительный учет поглощения СИ NO₂ в районе 0,4 мкм. Кроме того, были использованы более новые данные по оптическим толщинам релеевского рассеяния и

солнечной внеатмосферной радиации. Онлайновая версия модели доступна на сайте <http://www1.imp.kiae.ru/csif/index.php>.

Анализируя проведенные сопоставления можно сделать ряд выводов.

1. Результаты расчетов удовлетворительно согласуются с данными измерений для всех четырех станций. Для прямых потоков средние отклонения между измерениями и расчетами находились в пределах от 0,0% (Оклахома) до 1,6% (Науру), среднеквадратические – от 0,2% (Оклахома) до 1,2% (Москва). Для потоков рассеянного излучения средние отклонения менялись от 0,2% (Оклахома) до 1,8% (Москва), среднеквадратические – от 0,2% (Науру) до 0,7% (Оклахома). Полностью подтверждается тезис о том, что источником «аномального атмосферного поглощения» является неточная параметризация радиационного переноса в климатических моделях.
2. Основная причина расхождений между измерениями и точными расчетами обусловлена ошибками в калибровках приборов и другими измерительными погрешностями. Например, только различия в методиках учета косинусных характеристик пиранометров при измерениях рассеянных потоков вызывают разницу в оценках до 2%.
3. Как для Москвы, где для сравнения использовались потоки, усредненные в пределах часа, так и для Оклахомы, где время измерений потоков не совпадало на несколько минут с измерениями AERONET, изменчивость атмосферы вносила дополнительную разницу (до 2%) в оценки потоков прямого СИ.

Анализ межгодовой изменчивости и сезонного хода альбедо по данным актинометрической сети России

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

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

Проанализированы временные ряды часовых значений альбедо по данным актинометрической сети России за 1976–1995 гг. Среднемесячные полуденные значения альбедо обнаруживают значительную межгодовую изменчивость, составляющую, в среднем, 5–8%. Максимальные значения оказываются в 2–3 раза большими. Несмотря на определенное разнообразие в поведении альбедо, на большинстве пунктов наблюдений обнаруживаются устойчивые тенденции его долговременного изменения. В холодный период происходит уменьшение, а в теплый период увеличение альбедо. Значения линейного тренда составляет около 0,5–1,0% в год. На отдельных станциях в отдельные месяцы холодной части года наблюдается тенденция к увеличению альбедо. Анализ внутригодового хода трендов альбедо позволяет выделить три типа его поведения: 1) положительный максимум летом и отрицательный минимум зимой, 2) положительный максимум поздней весной и минимум зимой, 3) близкий к нулю максимум летом и отрицательный минимум зимой.

Проведенные расчеты статистик внутригодового хода альбедо показывают, что наибольшая изменчивость относится к переходным сезонам года. В зимний сезон не только средние значения, но и изменчивость превышает соответствующие значения, наблюдаемые в летний сезон. Изменения в годовом ходе альбедо связаны с чередованием холодных и теплых зим.

Радиационные свойства аэрозольной атмосферы по данным измерений в Москве (МО МГУ) и моделирования

Улюмджиева Н. Н. (aitusha@yandex.ru), Чубарова Н. Е. (chubarova@imp.kiae.ru),
Горбаренко Е. В. (farom@gol.ru)

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, геогр. фак., каф. метеорологии и климатологии, метеорологическая обсерватория, Воробьевы Горы, 119899 Москва, Россия

Рублев А.Н. (rublev@imp.kiae.ru)

Институт молекулярной физики, Российский Научный Центр "Курчатовский институт", пл. Курчатова 1, 123182 Москва, Россия

В последнее время широко обсуждается вопрос о роли аэрозолей в глобальных изменениях погоды и климата. Известно, что неточности в количественных оценках радиационного баланса Земли в значительной степени вызваны недостатком информации о количестве и оптических свойствах аэрозоля в различных географических регионах и его воздействии на солнечную радиацию. Для детальных исследований оптических свойств аэрозолей организуются различные наземные сети мониторинга. Одной из наиболее широко распространенных является международная сеть AERONET (AErosol RObotic NETwork), в которой используются однотипные приборы (солнечные фотометры CIMEL), стандартизированные процедуры калибровки и обработки данных. С августа 2001 года Метеорологическая Обсерватория (МО) МГУ также вошла в сеть AERONET, что позволяет проводить детальные исследования аэрозольного состава атмосферы в режиме мониторинга. Эти данные, наряду с измерениями потоков прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации в различных диапазонах спектра, проводимых в МО МГУ, позволяют провести сравнения результатов моделирования с непосредственными измерениями потоков солнечного излучения.

За период с августа 2001 г. по апрель 2002 г. на основании данных измерений спектральной аэрозольной оптической толщины (АОТ) в диапазоне длин волн 340–1020 нм были проанализированы вариации параметра Ангстрема, $AO_T = 500$ нм, содержания водяного пара, восстановленного оптическим методом. Наряду с измеренными характеристиками было рассмотрено также распределение аэрозольных частиц по размерам, альбедо однократного рассеяния и др. При выявлении причин изменения количества и свойств аэрозоля в Москве привлекались данные метеорологических наблюдений, а также синоптические карты и расчет обратных траекторий движения частиц (модель NOAA – NYSPLIT). Анализировались также некоторые методические аспекты проведения полностью автоматизированных измерений солнечным фотометром CIMEL, в частности, – оценка стандартной процедуры отбора безоблачных условий с учетом реально наблюдающейся облачности, состояния диска Солнца, изменчивости сигнала по другим приборам и пр. Проведено сравнение результатов измерений аэрозольной оптической толщины на 500 нм солнечным фотометром с расчетами АОТ по методике [Тарасова, Ярхо; 1991] с использованием данных измерений прямой солнечной радиации и влагосодержания атмосферы. Получено удовлетворительное согласие результатов измерений $AO_T = 500$ нм и расчетов аналогичной величины с задаваемым параметром Ангстрема $n = 1$, а также некоторые систематические различия при реальных значениях параметра Ангстрема. Обсуждаются причины этих различий.

Проведено сравнение результатов измерений прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации в МО МГУ с расчетами радиационных потоков методом Монте–Карло при безоблачных условиях. В качестве входных параметров модели задавались аэрозольные характеристики, определяемые по прибору CIMEL. При сравнениях с модельными расчетами использовались данные измерений прямой радиации, полученные по двум приборам: российскому прибору А-80, и пиргелиометру NIP фирмы Erppley, широко распространенному в мире. Данные приборы несколько отличаются по своим техническим характеристикам

(различны углы зрения, спектральный диапазон измерений, инерционность). Оценены причины некоторых расхождений в измерениях прямой радиации этими приборами. В целом, сравнение результатов модельных расчетов и измерений потоков солнечной радиации у поверхности Земли показало удовлетворительное согласие. На основании моделирования оценена роль аэрозоля в атмосферном поглощении.

Работа выполняется в рамках международного проекта «Влияние изменчивости радиационных и метеорологических параметров на фенологию лесных растений» и при административном участии фонда CRDF (грант RGO–808).

Сравнение восстановленных по спутниковым данным компонент радиационного баланса с актинометрическими измерениями на метеостанциях

Корзов В.И. (sinkev@main.mgo.rssi.ru)

Главная Геофизическая Обсерватория им. А.И.Воейкова, Карбышева 7, 194018 Санкт-Петербург, Россия

Руднева Л.Б., Радионов В.Ф. (Vradion@aari.nw.ru), Сибир Е.Е

Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, ул. Беринга 38, 199397 Санкт-Петербург, Россия

1. Представлена методика восстановления суммарной солнечной радиации, альbedo и радиационного баланса (РБ) у поверхности Земли по данным спутниковых измерений. В методике используются спутниковые измерения уходящей коротковолновой и длинноволновой радиации, а также наземные данные о температуре и влажности воздуха. В безоблачной атмосфере методика учитывает релеевское рассеяние и поглощение солнечной радиации водяным паром, а в облачной, кроме этого, осуществляется учет поглощения облаками.

Выполнена оценка погрешности восстановления компонент РБ, обусловленная неопределенностью задания параметров, входящих в методику расчета.

2. Для сравнения с актинометрическими измерениями использовались спутниковые данные уровня 2 четырехканального сканирующего радиометра (СКАРАБ), установленного на ИСЗ "Метеор-3" №7. Спутниковая информация включала измерения в видимом (0,5–0,7 мкм), солнечном (0,2–4 мкм), полном (0,2–50 мкм) и в инфракрасном окне прозрачности (10,5–12,5 мкм) в 1994 г. Спутниковые данные сопровождалась дополнительной информацией, включающей время измерений, географическую привязку (широту и долготу измеряемого пикселя), зенитный угол Солнца и угол визирования.

Обработка спутниковых данных включала выборку пикселей, находящихся в поле зрения радиометра в непосредственной близости от метеостанций, на которых проводились актинометрические измерения прямой, рассеянной, суммарной и отраженной радиации, а также температуры, влажности воздуха и состояния облачности. При анализе совместных (спутниковых и наземных) измерений были использованы как срочные, так и непрерывные (часовые суммы) актинометрические наблюдения.

3. Методика сравнения спутниковых и наземных данных компонент РБ учитывает: 1) схему осреднения спутниковых измерений в районе метеостанции, 2) выбор коэффициента угловой анизотропии уходящей радиации, 3) определение коэффициента поглощения солнечной радиации облачностью, 4) способ определения и осреднения актинометрических данных в облачных условиях для момента спутниковых измерений.

Для определения коэффициента поглощения солнечной радиации облачностью были использованы выборки спутниковых измерений в видимом канале при безоблачной атмосфере и в условиях сплошной облачности.

4. Результаты сравнений восстановленных по спутниковым данным компонент РБ с актинометрическими измерениями для Европейской части России (на 22 метеостанциях) показали, что среднее относительное расхождение между этими величинами составляет: а) в

безоблачных и малооблачных условиях для суммарной радиации 1,1%, альbedo – 4,9%, коротковолнового РБ – 1,6%; б) в условиях частичной облачности соответственно – 0,9%; 4,3%; 1,3%; с) в условиях сплошной облачности среднее расхождение расчетных и измеренных величин суммарной радиации составляет 5,7%.

5. Сравнение измеренных и расчетных компонент РБ над Антарктидой в декабре 1994 г. проводилось для метеостанций Мирный, Молодежная, Новолазаревская и Беллинсгаузен при использовании спутниковой информации со всех витков, проходящих в течение суток. Таким образом, в отличие от Европейской части России над данными районами были использованы спутниковые измерения в широком диапазоне зенитных углов Солнца от 43° до 90°.

Среднее относительное расхождение между восстановленными по спутниковым данным и наземными актинометрическими измерениями для безоблачных и малооблачных условий на метеостанции Мирный составило для суммарной радиации 2,2%, альbedo – 2%, коротковолнового РБ – 5,6%.

О построении карт глобального распределения альbedo и поглощенной радиации по наблюдениям спутниковым среднеугольным радиометром

Скляр Ю.А. (sklyarov@sgu.ssu.runnet.ru), Бричков Ю.И., Котума А.И., Семенова Н.В.,
Скляр В.П.

Саратовский государственный университет, Астраханская 83, 410012 Саратов, Россия

В Саратовском государственном университете продолжается обработка наблюдений, полученных среднеугольным радиометром ИКОР [1] с гелиосинхронного ИСЗ «Ресурс-01» № 4. За 1998–99 годы получено более 86 тысяч измерений уходящей коротковолновой радиации (УКР), распределенных по 7 месяцам. Наличие в ряде месяцев глобального покрытия наблюдениями земной поверхности в течение нескольких суток позволяло решать задачу совместной обработки массивов наблюдений. Ставилась цель получения среднемесячных величин альbedo и поглощенной солнечной радиации (ПСР) по сетке ячеек $5^\circ \times 5^\circ$ (всего в такой глобальной сетке 1654 ячейки).

Аналогичные задачи решались ранее в США для широкоугольных радиометров, покрывающих на земной поверхности площадь сферического сегмента в поле зрения радиометра радиусом до 30° геоцентрического угла (7% всей поверхности Земли). Для увеличения разрешения применялись методы деконволюции (см., например, [2]).

Анализ показал, что в случае среднеугольного радиометра ИКОР разрешающая способность может составлять 5–6 градусов геоцентрического угла, т.е. адекватна принятой сетке ячеек. В этом случае практически нет необходимости применять метод деконволюции в его основном виде. Задача решалась следующим образом. Перевод измеренных значений УКР с высоты орбиты ИСЗ на верхнюю границу атмосферы (ВГА) осуществлялся хорошо отработанным методом фактора формы [1]. Затем получались среднемесячные величины альbedo для каждой из ячеек указанной сетки по средним из всех величин измерений, попадавших в ячейку. Разработанная программа счета позволяла строить глобальные карты распределений среднемесячных величин альbedo.

Совместная обработка месячных массивов наблюдений путем разложения по сферическим функциям на ВГА использовалась для построения карт изолиний распределений альbedo. Разработана программа счета. Расчеты производились по усеченным рядам сферических гармоник. Наилучшее совпадение изолиний распределения альbedo с картами, полученными на основе метода фактора формы, получается при числе членов разложения 11 и 13. Можно отметить, что и в работах, выполненных в США, наилучшие результаты деконволюции получены при числе сферических гармоник в ряде, равном 12 [2].

Отдельно рассмотрена задача получения среднесуточных величин альбедо и на их основе среднесуточных величин поглощенной солнечной радиации. Дальнейшая обработка ПСР (построение среднемесячных карт по сетке ячеек, построение изолиний) производится аналогично.

Будут представлены подробности методов обработки, предварительные результаты построения карт глобальных распределений альбедо и ПСР, карт изолиний этих величин.

Поддержано РФФИ, проекты № 00–05–64798 и № 01–05–06112

1. Складов Ю.А., Брычков Ю.И. и др. Об обработке данных спутниковых измерений уходящих радиационных потоков широкоугольными радиометрами. *Исслед. Земли из космоса*, 1996, 3, 48–56.
2. Smith G.L., R.N. Green. Deconvolution of wide field-of-view radiometer measurements of earth-emitted radiation. Part 1: Theory. *J.Atmos.Sci.*, 1981, 38, 461–473.

Аэрозольная мутность атмосферы в Москве в конце XX века

Горбаренко Е.В. (eremin@enz.chem.msu.ru)

Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Географический факультет, Воробьевы Горы, 119899 Москва, Россия

Непрерывные, многолетние (с 1955 г.) актинометрические наблюдения в метеорологической обсерватории МГУ (МО МГУ) позволяют оценить тенденцию изменения аэрозольной мутности атмосферы над Москвой.

В качестве характеристики аэрозольной мутности атмосферы используется аэрозольная оптическая толщина атмосферы для эффективной длины волны солнечного спектра $\lambda_0=550$ нм (τ_a, λ_0), рассчитанная по данным измерений прямой интегральной солнечной радиации.

Наиболее значительное увеличение аэрозольной мутности связано с вулканическими извержениями, влияние которых сказывается на τ_a, λ_0 в течение последующих двух лет. Наибольшее увеличение мутности связано с извержением вулканов Эль-Чичон (1982 г) и Пинатубо (1991 г). На следующий год после извержения τ_a, λ_0 превышала норму (1955–2001 гг. – $\tau_a, \lambda_0 = 0.20$) соответственно на 75% и 50%.

По данным наблюдений с 1955 года до 1994 года во все сезоны кроме зимы отмечалась тенденция к увеличению аэрозольного загрязнения атмосферы в Москве (значимый положительный тренд τ_a, λ_0). К 1994 году произошло полное очищение стратосферы от вулканического аэрозоля.

Сравнение средних значений аэрозольной оптической толщины атмосферы для квазиоднородных периодов извержения вулканов и восстановления прозрачности атмосферы со средним многолетним значением за весь период наблюдений. показывает, что период 1994–2001 гг. характеризуется наиболее высокой прозрачностью атмосферы, а период 1964–1993 гг. – наиболее низкой. Средние годовые значения τ_a, λ_0 в эти периоды были равны соответственно 0,12 и 0,22.

В период с 1995 по 2001 гг., когда не было вулканических извержений, влияющих на глобальное загрязнение атмосферы, и значительно уменьшилось количество промышленных предприятий в Москве, наблюдается стабильное уменьшение аэрозольной мутности атмосферы. Средние годовые значения τ_a, λ_0 в последние годы были ниже нормы на 40%. С 1955 по 2001 гг. отмечается тенденция к уменьшению аэрозольной мутности атмосферы с достоверной вероятностью $P > 90\%$ зимой, летом и за год.

Анализ повторяемости различных градаций средних суточных значений τ_a, λ_0 за 1994–2001 гг. по сравнению со всем периодом наблюдений показал увеличение повторяемости высокой ($\tau_a, \lambda_0 < 0,03$) и повышенной ($\tau_a, \lambda_0: 0,03–0,12$) прозрачности атмосферы. Наибольшая повторяемость средних суточных значений за весь период наблюдения

приходится на градацию нормальной прозрачности атмосферы (τ_{a,λ_0} : 0,13–0,24) – 38%, в последние годы на градацию повышенной прозрачности – 44%, при этом более чем в три раза увеличилась повторяемость высокой прозрачности.

Важным фактором в изменчивости аэрозольной мутности в атмосфере города являются метеорологические условия. Совместная интерпретация метеорологических и актинометрических данных МО МГУ позволила выделить условия, способствующие увеличению аэрозольной мутности в городе.

Наибольшие значения τ_{a,λ_0} отмечаются при малых скоростях ветра независимо от его направления и при скорости ветра восточных направлений > 5 м/с. Максимальное отклонение τ_{a,λ_0} от нормы (более 50%) наблюдается при существовании устойчивой стратификации в течение нескольких дней. Значительное вымывание аэрозоля из атмосферы наблюдается при месячном количестве осадков 50–60 мм, при этом оно существенно зависит от продолжительности осадков. Двухчасовой дождь способствует стопроцентному вымыванию пыли, в то время как 6–минутный дождь (той же интенсивности) вымывает лишь 18% пыли.

Таким образом, изменения прозрачности атмосферы за рассматриваемый период обусловлены глобальными атмосферными процессами, и основной вклад в её тренд вносят естественные факторы. Для оценки влияния антропогенного фактора в многолетней изменчивости аэрозольной мутности атмосферы необходимы сравнения с фоновыми станциями. Но, к сожалению, актинометрические данные, по которым возможно рассчитать τ_{a,λ_0} , доступны только до 1985 года.

Биологическая активность солнечной УФ радиации и методы ее измерения

Теренецкая И.П. (teren@iop.kiev.ua)

Институт физики НАН Украины, пр. Науки 46, 03039 Киев, Украина

Актуальность постоянного контроля и прогнозирования уровня биологически активной солнечной УФ радиации на земной поверхности обусловлена уменьшением толщины стратосферного озонового слоя, влекущим за собой повышение интенсивности УФБ (280–315 нм) излучения, а, с другой стороны, – увеличением загрязнения атмосферы, что препятствует проникновению жизненно необходимой солнечной УФ радиации в биосферу.

Несмотря на то, что УФ радиация относится к классу неионизирующих излучений, биологическая активность радиации УФБ диапазона хорошо известна. Она может вызывать ожог кожи (эритему), преждевременное старение и рак кожи, катаракту и угнетение иммунной системы. Однако, эти острые и хронические эффекты наблюдаются только при высоких УФ экспозициях. В нормальных дозах УФ солнечное излучение играет важную позитивную роль, инициируя эндогенный синтез витамина Д, который регулирует процессы минерализации и тем самым предотвращает рахит у детей и остеопороз у взрослых. Кроме того, обнаруженная в недавних эпидемиологических исследованиях в США антикорреляция между уровнями УФБ радиации и смертностью от 14 видов рака, позволяет отнести УФБ излучение к фактору снижения риска онкологических заболеваний внутренних органов.

Поэтому исключительно важным является объективный подход к проблеме оценки биологической активности УФ радиации – как с точки зрения ее возможных негативных, так и позитивных последствий. Однако в мире, несмотря на отдельные работы, которые демонстрируют позитивные эффекты УФ радиации, основное внимание уделяется исследованию именно ее возможных негативных последствий, что находит свое отражение и в большинстве методов ее измерения. Так, общепринято оценивать биологическую активность УФ радиации в минимальных (1 MED = 200 Дж/м²) или стандартных эритемных

дозах (1 SED = 100 Дж/м²). Для определения эритемного эффективного УФ излучения спектр, измеренный спектрорадиометром, "взвешивают" (интегрируют по длинам волн) в соответствии со спектром действия эритемы (CIE, 1987). Непосредственно уровень эритемной активной радиации измеряют широкополосными радиометрами, спектральная чувствительность которых соответствует спектру действия эритемы. А для измерения эритемных доз часто применяют пассивный химический полисульфоновый пленочный дозиметр, спектр действия которого близок к спектру действия эритемы.

Альтернативный подход состоит в использовании биодозиметров, которые представляют собой простейшие биологические системы (бактерии, споры, биомолекулы). Они непосредственно интегрируют УФ излучение в соответствии со спектром, который в большинстве случаев отражает спектр действия УФ повреждения молекул ДНК.

Все эти методы не могут адекватно измерять синтезирующую витамин Д ("антирахитическую") активность солнечной УФ радиации в связи с различием их спектров действия. Ввиду широкого распространения эндогенного синтеза витамина Д в биосфере и его важностью для здоровья людей в Институте физики НАН Украины был предложен новый метод УФ дозиметрии, основанный на спектральном контроле процесса фотосинтеза превитамина Д *in vitro* [1]. Лабораторные и полевые испытания, проведенные в рамках европейского проекта "БИОДОЗ", продемонстрировали адекватность и надежность метода [2–4].

1. Terenetskaya I.P. Provitamin D photoisomerization as possible UVB monitor: kinetic study using tunable dye laser. *SPIE Proceedings*, 1994, **2134B**, 135-140.
2. Galkin O.N. and I.P. Terenetskaya, "Vitamin D" biodosimeter: basic characteristics and prospect applications. *J. Photochem. Photobiol. B: Biology*, 1999, **53**, 1, 12–19.
3. Terenetskaya I. Spectral Monitoring of Biologically Active Solar UVB Radiation Using an In Vitro Model of Vitamin D Synthesis, *Talanta*, 2000, **53**, 1, 195-203.
4. Bolsee D., A.R. Webb, D. Gillotay, B. Dorschel, P. Knuschke, A. Krins, and I. Terenetskaya. Laboratory facilities and recommendations for the characterization of biological ultraviolet dosimeters, *Applied Optics*, 2000, **39**, 16, 2813–2822.

Исследование применимости спутниковых методов определения УФ облученности земной поверхности

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

Институт экспериментальной метеорологии Научно-производственного объединения «Тайфун», пр. Ленина 82, 249037 Обнинск Калужской обл, Россия

За последние несколько лет влияние озона, облачности, аэрозолей и географических различий на величину и изменчивость потоков и экспозиций УФ радиации известно намного лучше, чем было на начало 90-х годов. Основное внимание уделяется разработке технологий определения характеристик УФ радиации на основе использования спутниковой информации. Тем не менее, потребность в наземных измерениях не только не отпала, а даже увеличилась, так как требуются независимые измерения для настройки и верификации этих технологий.

Наиболее надежным наземным прибором в настоящее время является спектрофотометр Брюера, который дает информацию как об интегральных и спектральных потоках УФ-Б радиации, так и о характеристиках озонового слоя. В системе Росгидромета на Европейской территории России работает один такой прибор – спектрофотометр Брюера № 044 в НПО «Тайфун» (станция «Обнинск», 55° с.ш., 37° в.д.). Качество наблюдений, выполняемых прибором, обеспечивается периодической сверкой с международным эталоном – спектрофотометром Брюера № 017. Последняя такая сверка была проведена в июле 2001 года.

В представляемой работе приведены методика и результаты сравнения экспозиций УФ-Б радиации, полученных наземными измерениями прибором Брюера № 044 и при помощи

спутниковых технологий на основе данных озонного картографа TOMS, для Центрально-Европейского региона России. Сравнение было проведено для 618 дней, охватывающих период 1997–2000 годы. Основные результаты сводятся к следующему.

Коэффициент корреляции между значениями дневных экспозиций по данным TOMS и данным прибора Брюера составляет 0,955 при уровне значимости меньше 0,000001. При месячном и трехмесячном интервале осреднения коэффициент корреляции возрастает соответственно до 0,991 и 0,992 при том же уровне значимости. В среднем значения экспозиций, полученных с использованием спутниковой технологии, завышены относительно показаний Брюера на 8,0%. Среднеквадратичное отклонение при дневном интервале осреднения составляет 19,6%, при этом 50% среднеарифметических отклонений приходятся на диапазон (19,0 – минус 4,7)%. При увеличении интервала осреднения среднеквадратичное отклонение несколько уменьшается (до 12,3% при месячном интервале осреднения).

При использовании спутниковых данных прирост информативности по отношению к климатическому прогнозу составляет для летних месяцев 57%, для зимних – 89%. Иными словами, над областями, где нет наземных измерительных пунктов, измерения TOMS обеспечивают намного более точные данные по дневным экспозициям по сравнению с климатическими значениями.

Отклонения измерений дневных экспозиций прибором TOMS от измерений прибором Брюера имеют некоторый годовой ход, являющийся, по-видимому, отражением изменчивости в соотношении между результатами измерений приборами TOMS и Брюер, имеющей период в несколько лет. Систематическая составляющая отклонения экспозиций УФ-Б излучения, определенных при помощи спутниковых технологий, от экспозиций, непосредственно измеренных наземным прибором Брюера, не постоянна, а имеет волнообразный характер зависимости от времени, с периодом около четырех лет.

Спектроскопические базы данных для расчётов атмосферной радиации: ретроспектива и текущее состояние

Фомин Б.А. (fomin@imp.kiae.ru), Удалова Т.А. (udalova@imp.kiae.ru)

Институт Молекулярной физики, РНЦ "Курчатовский Институт", пл.Курчатова 1, 123182 Москва, Россия

Многие ныне применяемые радиационные блоки климатических моделей были разработаны на основе информации, содержащейся в спектроскопической базе HITRAN-92, появившейся 10 лет назад. В последнее время эта информация была существенно уточнена, дополнена и представлена как в версиях HITRAN-96, HITRAN-96с и HITRAN-2к, так и в ряде новейших, принципиально новых спектроскопических баз, в частности, в базах Патриджа–Швенке и ESA. Например, в настоящий момент из базы Патриджа–Швенке стала доступной информация о 497463 линиях водяного пара, в то время как в HITRAN-92 этих линий было представлено только 48253.

Доклад посвящён ответу на вопрос о том, как изменения в исходной спектроскопической информации должны быть учтены в радиационных блоках современных климатических моделей. Рассмотрены изменения в современных представлениях о континуальном поглощении водяного пара, азота, кислорода и озона. Показано, что континуальное поглощение по-прежнему остается источником больших неопределённостей в расчетах атмосферной радиации, чем спектроскопические базы. На настоящем этапе предлагается воспроизвести "эталонные расчеты" потоков и притоков атмосферной радиации с использованием базы HITRAN-2к и новейших моделей континуумов, после чего внести поправки в радиационные блоки.

Ослабление и поглощение оптического излучения ледяными гексагональными призмами

Петрушин А.Г. (las@iem.obninsk.ru)

Институт Экспериментальной Метеорологии, пр. Ленина 82, 249038 Обнинск Калужской обл., Россия

В работе представлены результаты расчетов факторов эффективности ослабления K_{ex} , поглощения K_a неполяризованного излучения и альbedo однократного рассеяния Λ ледяными гексагональными призмами. Вычисления K_{ex} , K_a и Λ для отдельных длин волн λ в диапазоне $\Delta\lambda = 0,63 \text{ мкм} - 12,0 \text{ мкм}$ проведены с помощью выражений [1], в которых учитывалось преломление, отражение и дифракция излучения на гексагональных призмах. Вытянутость призмы характеризовалась так называемым фактором формы призмы c (отношение ее длины к диаметру основания). Значения комплексного показателя преломления излучения льдом m_i взяты из работы [2], размеры призм и их возможные значения соответствовали размерам и факторам формы ледяных кристаллов в облаках ($0,05 \leq c \leq 10,0$; $10 \text{ мкм} \leq a \leq 100 \text{ мкм}$, a – радиус основания призмы) [3]. Учитывалось, что ледяные призмы могут определенным образом ориентироваться в пространстве в зависимости от их скоростей падения и параметров c [3].

Подробно изучено поведение K_{ex} , K_a и Λ в случае одиночных ледяных призм при заданных a и c в зависимости от ориентации последних относительно направления распространения падающего излучения вдоль вектора $\mathbf{n}_0$. Указанная ориентация задавалась углом α (угол между главной осью призмы, совпадающей по направлению с вектором $\mathbf{n}_a$ и $\mathbf{n}_0$) и углом β (угол между внешней нормалью к некоторой грани призмы и проекцией этой нормали на плоскость, содержащую вектора $\mathbf{n}_a$ и $\mathbf{n}_0$). Углы ориентации призмы изменялись в пределах $0 \leq \alpha \leq \pi/2$, $0 \leq \beta \leq \pi/3$. Было показано, что наиболее значимые зависимости K_{ex} , K_a и Λ от β наблюдаются в полосе поглощения льда около $2,0 \text{ мкм}$, а зависимости этих величин от α в основном определяются размерами призм и величиной c , причем с увеличением c ($c > 1$) они ослабевают.

Рассмотрены два случая ориентации призм с различными значениями c в пространстве – хаотическая ориентация осей призм $\mathbf{n}_a$ в пространстве и произвольная ориентация плоскостей основания пластинок ($c \leq 0,05$) и главных осей длинных призм $\mathbf{n}_a$ ($c \geq 3$) в горизонтальной плоскости. В последнем случае изучалось влияние на K_{ex} , K_a и Λ также угла γ между вектором $\mathbf{n}_0$ и нормалью к плоскости ориентации. Зависимости вышеуказанных величин от γ значимы при $2\pi\kappa a/\lambda \leq 0,33$, где κ – мнимая часть m_i . При хаотической ориентации призм в пространстве их оптические характеристики рассеяния излучения с погрешностью порядка 20% могут быть представлены аналогичными характеристиками для ледяных сферических частиц с некоторыми эффективными размерами.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований, гранты 00–05–64571 и частично 00–05–65456.

1. Petrushin A.G. Main optical characteristics of light scattering by mixed clouds. *Izv., Atmosph. and Ocean Physics*, 2001, 37, Suppl. 1, s149–s156.
2. Warren S.G. Optical constants of ice from ultraviolet to the microwave. *Appl. Opt.*, 1984, 23, 8, 1206–1225.
3. Петрушин А.Г. Рассеяние и поглощение оптического излучения в кристаллической облачной среде. Сб. Вопросы физики облаков. Ред. Семенов Л.П. Санкт-Петербург, Гидрометеиздат, 1998, 118–149.

О спектральном распределении оптического излучения из факельных структур

Никольский Г.А., Шашкин А.В., Шульдц Э.О. (Genrik.Nikolsky@paloma.spbu.ru)
НИИ Физики Санкт-Петербургского государственного университета, Ульяновская 1, 198904 Санкт-Петербург, Россия

Макарова В.В.
Горная астрономическая станция ГАО РАН, Кисловодск, Россия

Савиных В.В. (atmos@narzan.com)
Кисловодская высокогорная научная станция ИФА РАН, Россия

Основываясь на результатах долговременных высокогорных наблюдений за вариациями солнечной спектральной радиации, проводимых на Горной астрономической станции ГАО РАН с 1981 год, анализируются данные сезона наблюдений 2000 года, приходящегося на завершающую часть максимума в 23-м цикле солнечной активности. Данные о вариациях спектрального излучения Солнца (как звезды) на коротких отрезках времени (от минут до часов) и для различных фаз солнечной активности оказываются чрезвычайно важными при осмыслении радиационных процессов в фотосфере, хромосфере и короне Солнца.

При продолжении мониторинга всплесков внеатмосферного спектрального излучения в 2000 г. было обращено внимание на тот факт, что остается "в тени" область спектра короче 330 нм. Полученные ранее данные для участка спектра 330–380 нм свидетельствуют, что в их спектральном ходе присутствует тенденция продолжения избыточного непрерывного излучения далее в коротковолновую часть солнечного спектра. В обнаруженном еще в 1981 г. спектральном максимуме всплеска на 410 нм превышение над уровнем, характерным для спокойного Солнца, достигало 70%. В области 330–380 нм превышение оставалось значимым (15–20%). Для выяснения ситуации в области 295–330 нм были привлечены данные со "стороннего", но стабильного и прецизионного прибора, работающего в режиме мониторинга УФ солнечного излучения в области спектра 295–325 нм. Такого рода прибор – спектрофотометр Брюера МК II №043 – установлен на Кисловодской высокогорной научной станции (КВНС) ИФА РАН, находящейся в тесном соседстве с базой НИИФ СПбГУ и Горной астрономической станцией ГАО РАН. Спектрофотометр Брюера включен в Мировую озонметрическую сеть. Кроме общего содержания озона он в автоматическом режиме измеряет в участке 295–325 нм в абсолютных единицах спектральные потоки суммарной и прямой ультрафиолетовой радиации (с шагом сканирования 5 Å). В октябре 2000 г. при совместных наблюдениях на спектрофотометре Брюера и спектральной аппаратуре НИИФ нам удалось зафиксировать (в периоды прохождения активных областей №№ 437 и 453 через центральный меридиан (ЦМ) Солнца) несколькими приборами всплески спектрального излучения Солнца. 9 и 14 октября были отмечены всплески как в области 410 нм (до 38%), так и в области 660–720 нм (~ 8%). Анализ данных спектрофотометра Брюера показал наличие синхронных всплесков внеатмосферного спектрального излучения и в области 295–325 нм. Превышение по отношению к величинам 15 октября, когда было отмечено отсутствие возмущений вблизи ЦМ Солнца, составило около 20%.

Тенденции многолетних изменений радиационных параметров атмосферы в Москве

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

Московский государственный университет, Воробьевы горы, географический факультет, Метеорологическая обсерватория, 119299 Москва, Россия

Изучение многолетних изменений радиационных параметров атмосферы необходимо для решения проблемы экологического мониторинга атмосферы и современных задач теории климата.

По данным измерений Метеорологической обсерватории МГУ (МО МГУ) за 1955–2001 гг. тренд средних годовых значений интегрального коэффициента прозрачности p_2 , приведённого к массе атмосферы $m = 2$, отсутствует. Статистически незначим тренд и средних сезонных значений p_2 , за исключением зимы, когда наблюдается тенденция к его увеличению (на 4%). С доверительной вероятностью $P > 90\%$ отмечается тенденция к уменьшению аэрозольной оптической толщины атмосферы для длины волны 550 нм зимой, летом и в целом за год.

Наиболее высокой прозрачностью атмосферы характеризуется период 1994–2001 гг., когда не было значительных вулканических извержений, влияющих на глобальное загрязнение атмосферы и значительно уменьшилось количество промышленных предприятий в Москве, а наиболее низкой – период 1964–1993 гг. Средние годовые значения p_2 в эти периоды были равны соответственно 0,75 и 0,70, а аэрозольной оптической толщины атмосферы – 0,12 и 0,22.

Анализ колебаний временных рядов годовых сумм составляющих радиационного баланса за 1958–2001 гг. показал наличие статистически незначимой тенденции к уменьшению (на ~ 4%) прямой радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, рассеянной и суммарной радиации. Многолетние изменения суммарной радиации Q достаточно хорошо согласуются с межгодовой изменчивостью облачности и продолжительности солнечного сияния (ПСС). Коэффициенты корреляции между годовыми суммами Q , ПСС и средним годовым количеством общей и нижней облачности достаточно высоки и составляют соответственно 0,81; – 0,66; – 0,71.

Отмечается статистически значимая тенденция к уменьшению (на 15%) годовых сумм отражённой радиации и средних месячных, сезонных и годовых (на 11%) значений альbedo подстилающей поверхности A . Одной из возможных причин уменьшения отражательных свойств подстилающей поверхности является положительный линейный тренд средних годовых значений температуры воздуха T_v , который по данным МО МГУ за последние 44 года составил 1,5°С. Коэффициент корреляции r между средними годовыми значениями A и T_v равен – 0,51. Достаточно тесная связь между указанными параметрами отмечается также в марте (– 0,57), октябре (– 0,66), ноябре ($r = -0,63$) и декабре ($r = -0,55$).

Поглощённая радиация оставалась неизменной в пределах естественной изменчивости. Не обнаружен также тренд и для радиационного баланса.

Большое воздействие на здоровье человека и состояние экосистем оказывает ультрафиолетовая радиация (УФР). Многолетние (1968–2001 гг.) изменения годовых сумм суммарной УФР ($\lambda \leq 380$ нм) довольно хорошо описываются полиномиальным уравнением третьего порядка с величиной достоверности аппроксимации $R^2 = 0,68$. Минимальные суммы приходятся на конец 70-х и начало 80-х годов, максимальные – на начало и конец периода. Характер изменения годовых сумм УФР достаточно хорошо согласуется с ходом относительной продолжительности солнечного сияния: коэффициент корреляции $r = 0,73$. Достаточно тесная связь наблюдается между годовыми суммами суммарной УФ и интегральной радиации ($r = 0,65$).

За последние 22 года (1980–2001 гг.) прослеживается статистически незначимая тенденция к увеличению (на 6%) годовых сумм суммарной фотосинтетически активной

солнечной радиации (ФАР, 380–710 нм), под влиянием которой происходит процесс фотосинтеза. Коэффициент вариации годовых сумм ФАР, которые изменялись от 1534 МДж/м² в 1990 г до 1937 МДж/м² в 1996 г., за этот период составил 6%.

Результаты исследований показывают, что многолетние изменения радиационных параметров атмосферы в течение последних десятилетий обусловлены в основном естественными причинами, к числу которых относятся колебания общей циркуляции атмосферы и прозрачности атмосферы.

Анализ зависимости суточного хода альbedo подстилающей поверхности от метеорологических параметров

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

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

В работе определены факторы, влияющие на дневной и сезонный ход альbedo, и изучена степень их влияния. Исследование ориентировано на повышение точности и надежности описания дневного и сезонного хода альbedo различных типов поверхностей системы почва–растительность на основе анализа данных сетевых актинометрических и теплобалансовых наблюдений, проведенных на сети Росгидромета.

В качестве исходного материала использованы данные выборочных актинометрических станций за период 1976 – 1995 гг., что позволило проследить изменения хода альbedo в пространстве и во времени. Проведена типизация дневного и сезонного хода альbedo в зависимости от вида рельефа, растительности и почвы, от степени покрытия и плотности растительности, испарения, температуры и влажности почвы, скорости ветра на площадке метеостанции в период наблюдений. Полученные результаты могут быть использованы для построения статистических моделей хода альbedo для корректного усвоения данных наблюдений (в том числе и спутниковых) за состоянием поверхности суши в численных моделях.

Доли ФАР в интегральной солнечной радиации по расчетам и наблюдениям в Москве

Шиловцева О.А. (farom@gol.ru)

Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Географический факультет, Воробьевы Горы, 119899 Москва, Россия

В метеорологической обсерватории МГУ ведутся непрерывные наблюдения за суммарной и рассеянной ФАР (380–710 нм) с помощью цветного пиранометра ГГО с 1980 г. Методика наблюдений аналогична методике наблюдений за интегральной солнечной радиацией, что дает возможность достаточно надежно оценить вклад ФАР в общий поток. Кроме того, аналогичные величины оценивались по теоретическим расчетам спектрального распределения солнечной радиации, полученные в рамках модели Научного Центра “Курчатовский институт” и любезно предоставлены сотрудникам МО МГУ одним из ее авторов А.Н. Рублевым.

Сравнение теоретических оценок доли ФАР в прямой ($sf = Sf/Sir$), рассеянной ($df = Df/Dir$) и суммарной ($qf = Qf/Qir$) интегральной солнечной радиации с аналогичными величинами, полученными по многолетним наблюдениям, показывают достаточно хорошую сходимость между ними для sf и qf (1–4%) и расхождения до 8% для df . Вклады ФАР в прямую и рассеянную радиацию колеблются при ясном небе в широких пределах. Например, при высоте Солнца $h = 30^\circ$ sf изменяется на 9% по данным теоретических расчетов и на 6% по данным наблюдений при изменении оптической толщины аэрозоля от 0,05 до 0,45. Аналогичные изменения df составили соответственно 6% и 14%. Зависимости qf от прозрачности атмосферы по данным наблюдений получить не удалось, а по расчетам оно

составило всего 2%. С ростом высоты Солнца влияние этого фактора уменьшается, а с уменьшением, наоборот, растет.

Сопоставление долей ФАР при различной облачности показывает, что увеличение оптической плотности облаков приводит к росту вклада ФАР в интегральную радиацию. Это объясняется различным характером ослабления облаками коротковолновой и длинноволновой радиации. Различия между наблюдаемыми и рассчитанными величинами qf при сплошной облачности верхнего яруса составили 13% при $h = 10^\circ$, уменьшаясь до 1% при $h = 60^\circ$. При сплошном покрове слоисто-кучевых облаков различия увеличились и составили соответственно 13 и 7%.

Анализ зависимости долей ФАР в суммарной и рассеянной интегральной радиации от балла кучевой облачности за летние месяцы (май–сентябрь) показал тенденцию к росту qf и к уменьшению df с увеличением количества облаков. Изменения qf менее существенны, чем df : на 9% и 19% соответственно при изменении балла облаков от 1 до 9,5. Значительный рост доли ФАР при 10 баллах (58%) можно объяснить тем, что в этой градации главный вклад вносят мощные кучево-дождевые облака, которые характеризуются значительной оптической плотностью и наиболее сильно ослабляют и УФ, и ИК составляющие солнечной радиации.

Особенностью суточного хода доли ФАР в средних часовых суммах являются небольшие колебания их в дневное время и резкие изменения в ранние утренние и в вечерние часы. В среднем амплитуда qf в течение суток составила 2–3% в холодное время и до 8–9% в теплое. Величины qf в средних суточных суммах суммарной радиации изменяются от 46% в декабре–январе до 48% в мае–июле, причем эта разница получилась статистически значимой.

Вклад ФАР в среднюю годовую сумму суммарной радиации составил 48%.

Таким образом, анализ изменения долей ФАР в суммарной, рассеянной и суммарной интегральной радиации в зависимости от различных факторов показал, что наиболее консервативной величиной является qf . Следовательно, при расчете суммарной ФАР следует использовать один этот коэффициент, а не два (df и sf).

Оценки эмиссии метана в Санкт-Петербургском регионе

Решетников А.И. (aresh@main.mgo.rssi.ru), Зинченко А.В., Парамонова Н.Н., Привалов В.И.
Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова, Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

Концентрация парниковых газов в атмосфере существенно влияет на радиационный баланс атмосферы. Наблюдающийся в настоящее время рост концентрации CO_2 и CH_4 связан, в основном, с антропогенными источниками. Урбанизированные территории являются важным источником парниковых газов. Оценки эмиссии на территории масштаба города проводились путем решения обратной задачи. Экспериментальной основой исследования послужили записи временного хода концентрации метана в атмосфере, сделанные вблизи города на станции Воейково в 1996 – 2000 гг. при помощи автоматизированной газохроматографической установки, проводившей измерения одну неделю месяца 24 часа в сутки с временным разрешением 10 минут. Используемый метод обращения является вариантом подхода, основанного на рассмотрении баланса примеси в пограничном слое атмосферы (АПС). Метод баланса в АПС это общий метод исследования, при котором АПС рассматривается как область сбора и суммирования выбросов. Дано математическое обоснование постановки задачи и метода ее решения. Постановка задачи основана на описании процесса роста концентрации примеси при устойчивых условиях в ночной период. Численный метод решения некорректной обратной задачи использует регуляризацию по А.Н.Тихонову. Полученное поле эмиссии неоднородно. Средняя плотность потока метана на территории города $1,03 \text{ г} \cdot \text{км}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Суммарный поток на территории города и пригородной зоны составляет около $60 \text{ кТ} \cdot \text{год}^{-1}$. Эти оценки относятся к

ночным условиям в летний период, они не включают выбросов из высоких труб. Отдельно проводилось исследование и представлены результаты для выбросов метана на основных полигонах захоронения твердых бытовых отходов в пригородах Санкт-Петербурга.

Аэрозольная оптическая толщина атмосферы и химический состав осадков – показатели загрязнения атмосферы в большом городе (на примере г. Москвы)

Горбаренко Е.В., Еремина И.Д. (eremin@enz.chem.msu.ru)

Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Географический факультет, Воробьевы Горы, 119899 Москва, Россия

Крупный промышленный город с большим количеством газовых и аэрозольных источников загрязнения трансформирует проходящую над ним воздушную массу, изменяя ее химический состав и оптические свойства, оказывая значительное влияние на один из важнейших климатообразующих факторов – аэрозольную мутность атмосферы.

Косвенной характеристикой загрязнения атмосферы в условиях города может служить аэрозольная оптическая толщина атмосферы для эффективной длины волны солнечного спектра $\lambda_0 = 550$ нм (τ_{a,λ_0}), рассчитанная по данным измерений прямой интегральной радиации. Так как основные процессы очищения атмосферы от аэрозоля связаны с выпадением осадков, химический состав атмосферных осадков и их общая минерализация также являются показателями уровня загрязнения воздушного бассейна города.

Мониторинг аэрозольной мутности атмосферы в метеорологической обсерватории МГУ (МО МГУ) ведется с 1955 года. С 1981–1982 года в МО МГУ проводятся наблюдения за химическим составом атмосферных осадков. В каждой пробе дождя или снега, согласно программе ВМО, определяется содержание анионов: сульфатов (SO_4^{2-}), гидрокарбонатов (HCO_3^-), хлоридов (Cl^-), нитратов (NO_3^-) и катионов: кальция (Ca^{2+}), магния (Mg^{2+}), натрия (Na^+), калия (K^+) и аммония (NH_4^+). Измеряется и показатель кислотности проб осадков pH.

В годовом ходе средних многолетних месячных значений аэрозольной оптической толщины, общей минерализацией осадков (сумма всех ионов в осадках) и отдельных ионов – сульфатов, хлоридов, нитратов, кальция отмечается согласованность. Максимальные значения приходятся на весенне-летний период, что связано с повышением уровня естественного аэрозоля.

Общие тенденции наблюдаются и в многолетней изменчивости этих характеристик. В последние годы уменьшился уровень аэрозольной мутности атмосферы в Москве. Так, за период 1994–2001 гг., когда атмосфера полностью очистилась от вулканического аэрозоля после извержения в 1991 г. вулкана Пинатубо, $\tau_{a,\lambda_0} = 0,14$, в то время как среднее годовое значение τ_{a,λ_0} осредненное за весь период наблюдений (1955–2001 гг.), равно 0,20.

Произошли и некоторые изменения в химическом составе атмосферных осадков. Во втором десятилетии наблюдений (1991–2000 гг.) заметно уменьшилось количество кислотных дождей (с $\text{pH} < 5$), а доля нейтральных и щелочных осадков (с $\text{pH} > 6$) увеличилась.

Уменьшающиеся концентрации основных ионов в осадках в последние годы привели к изменению вида некоторых трендов. Так, уравнение тренда минерализации имеет даже отрицательный знак: $y = -0,01x + 20,9$. Надо сказать, что за первые 10 лет наблюдений (1982–1991 гг.) уравнение линейного тренда минерализации имело вид: $y = +0,64x + 17,1$, что говорило о тенденции увеличения загрязненности осадков. Во втором десятилетии (1992–2001 гг.) это уравнение выглядит совершенно иначе: $y = -1,00x + 26,7$, что говорит об уменьшении количества загрязнений в осадках.

Значение средней минерализации в 2001 г. составило 11,8 мг/л – самое низкое за все годы наблюдений (среднее многолетнее значение минерализации равно 21,7 мг/л). И если с

1982 года наибольшая концентрация среди анионов наблюдалась для сульфат-иона (характеризующего антропогенное влияние на атмосферу), то в последние 2 года преобладающим ионом стал гидрокарбонат-ион (связанный с естественным аэрозолем).

С 1995 г. в Москве наблюдается стабильное уменьшение аэрозольной мутности атмосферы, по данным с 1955 до 2001 года в многолетних изменениях τ_a, λ_0 зимой, летом и за год отмечается значимый отрицательный тренд. Тенденция уменьшения характерна также для сульфатов и общей минерализации осадков.

Процесс вымывания аэрозоля из атмосферы определяется совокупностью факторов: количеством, продолжительностью и интенсивностью осадков, характером их выпадения. Для изучения динамики вымывания аэрозолей из атмосферы осадками отбирались фракционные пробы отдельных дождей. Наибольшее очищение происходит в первые 35 минут.

Таким образом, аэрозольная оптическая толщина атмосферы, химический состав атмосферных осадков и их многолетние изменения, которые служат показателями загрязнения атмосферы, говорят об уменьшении этого загрязнения в последние годы.

Изменение прозрачности атмосферы в Узбекистане за инструментальный ряд наблюдений

Петров Ю.В., Аванесов А.С., Ким Д.О. (andavus@yahoo.com)

Национальный Университет Узбекистана им. М. Улугбека, ГСП Вузгородок, физический факультет, кафедра физики атмосферы, 700174 Ташкент, Республика Узбекистан

Предложена новая безразмерная характеристика интегральной прозрачности атмосферы – приведенный показатель прозрачности Pa . Он определяется как отношение разности между солнечной постоянной и приведенным к оптической массе, равной двум, значениям прямой солнечной радиации на перпендикулярную поверхность в ясный полдень к величине солнечной постоянной. По своему физическому смыслу численное значение приведенного показателя прозрачности равно доле прямой солнечной радиации, «потерянной» в атмосфере при прохождении пути равного двум оптическим массам.

Преимущество предлагаемой характеристики прозрачности атмосферы по сравнению с существенными интегральными показателями прозрачности заключается в следующем. Она не подвержена влиянию эффекта Форбса; рассчитывается непосредственно по данным измерений сетевых актинометров и ошибка расчета зависит только от ошибки измерения; обладает высокой чувствительностью к изменениям прозрачности. По указанным причинам именно этот показатель прозрачности предлагается использовать в качестве исходной величины в системе мониторинга прозрачности атмосферы, построенной на базе сетевых актинометрических измерений на территории Узбекистана. Основное достоинство такого мониторинга – его дешевизна и возможность экспресс-анализа прозрачности атмосферы.

Изучено изменение прозрачности атмосферы на территории Узбекистана в период инструментальных наблюдений за прямой солнечной радиацией на всех семи актинометрических станциях Республики. Начало этих наблюдений относится к 1956 году. В Ташкенте этот ряд удалось продлить до 1926 года, используя часовые суммы прямой солнечной радиации на перпендикулярную поверхность в ясные околополуденные часы (часовой интервал 12–13 часов). По специальной методике часовые суммы были приведены к значениям прямой солнечной радиации. Полиномиальный тренд показал непрерывное уменьшение прозрачности с середины 20-х годов до середины 80-х годов XX-го столетия. В Ташкенте это уменьшение составило в январе около 60%, в июле примерно 20%. Отметим, что уменьшение приведенного показателя прозрачности на всех станциях имело пульсационный характер.

Спектральный анализ временных рядов приведенного показателя прозрачности выявил значимые пульсации прозрачности атмосферы в высокочастотной и среднечастотной части

спектра: 2–3 года, 6, 9, 15, 21 и 31 год. Обратим внимание, что отсутствует цикл, равный 11 годам, который соответствует 11-летнему циклу солнечной активности. В тоже время 2–3-х летняя периодичность присуща многим метеорологическим процессам: циркуляция атмосферы, годовые суммы осадков, годовые температуры и др.

Климато–статистические характеристики прозрачности атмосферы в Узбекистане

Петров Ю.В., Аванесов А.С., Ким Д.О. (andavus@yahoo.com)

Национальный Университет Узбекистана им. М. Улугбека, ГСП Вузгородок, физический факультет, кафедра физики атмосферы, 700174 Ташкент, Республика Узбекистан

В качестве характеристики прозрачности атмосферы был использован безразмерный приведенный показатель прозрачности, представляющий собой отношение разности между солнечной постоянной и приведенными к оптической массе, раной двум, значениями прямой солнечной радиации на перпендикулярную поверхность в ясный полдень к величине солнечной постоянной. Выполнен анализ особенностей сезонного хода среднемесячных и экстремальных значений рассчитанных по данным климатических справочников приведенного показателя прозрачности. Минимальные среднемесячные значения наблюдаются в декабре–январе и составляют 0,32–0,36 на большей территории Узбекистана. В промышленных районах (Ташкент, Фергана) он увеличивается до 0,39, в горных районах уменьшается до 0,22. Минимум среднемесячных значений показателя наблюдается в июле и составляет в пустынной зоне 0,50–0,54; в горах – 0,44; в промышленных районах – 0,58. Минимальные величины показателя в зимний полдень составляют повсеместно – 0,20–0,22; в горах – 0,12; максимальные в летний полдень – 0,72–0,82; в горах и на плато Устюрт – 0,55–0,58. Кривые распределения приведенного показателя прозрачности обнаружили их положительную асимметрию зимой и отрицательную – летом. Кроме этого, для всех станций характерным является трех или даже четырехмодальное распределение показателя. Как оказалось, каждому из максимумов распределения соответствовала повторяемость определенного географического типа воздушной массы.

Были определены типы воздушных масс и характерные для них значения приведенного показателя прозрачности. Зимой в Узбекистане типичными являются следующие воздушные массы, для которых были установлены соответствующие интервалы изменения показателя прозрачности:

- арктический воздух (Ас) и сибирский умеренный воздух (Ус), в котором приведенный показатель прозрачности изменяется в пределах – 0,22–0,34;
- умеренный туранский воздух (Ут) и умеренный восточноевропейский: 0,35–0,44;
- тропический иранский (Ти) и умеренный южных широт (Ую): 0,45–0,60. В Ташкенте и Ферганской долине за счет сильного аэрозольного загрязнения для последнего типа воздушных масс значения показателя могут достигать 0,72.

Для летнего сезона типичны следующие воздушные массы с соответствующими интервалами изменения приведенного показателя прозрачности:

- умеренный сибирский (Ус), очень редко арктический (Ас): 0,34–0,46;
- умеренный восточноевропейский: 0,47–0,54;
- тропический туранский (Тт) и умеренный южных широт: 0,55–0,63. При сильном загрязнении (запылении) этого типа воздушной массы показатель прозрачности может достигать – 0,80.

Полученные критерии приведенного показателя прозрачности будут использоваться в системе мониторинга прозрачности атмосферы в Узбекистане.

Изучение атмосферной радиации и других особенностей климата гор для целей рекреационного природопользования

Пучкин А.В. (burabay@mail.ru)

Институт оптического мониторинга СО РАН, Академический пр. 10/3, 634055 Томск, Россия

При изучении рекреационных ресурсов горных территорий весьма важное значение имеет оценка климатических особенностей горного узла или долины. В частности, особый интерес вызывает выявление микроклиматических показателей. Известно, что распределение показателей метеозлементов в горных долинах крайне неравномерно. Частично это зависит от особенностей подстилающей поверхности, частично от особенностей рельефа и положения основных форм рельефа относительно сторон горизонта и преобладающих воздушных масс.

К сожалению, выявление всех этих особенностей – задача весьма сложная, требующая многолетних стационарных наблюдений. Опыт таких исследований в нашей стране невелик и связан в основном с работами по изучению горного оледенения. В частности, в горно-ледниковом бассейне Актру с 1953 года существует географическая станция Томского государственного университета. За годы работы станции построена репрезентативная модель распределения метеозлементов в пределах горно-ледникового бассейна (ГЛБ) Актру (верхнее течение реки, в непосредственной близости от ледников). Получены значения вертикальных градиентов (в т.ч. в приземном слое воздуха) температуры, влажности, скорости ветра для различных условий подстилающей поверхности и текущей погоды.

Кроме наблюдений за режимом ледником и особенностями погодно-климатических условий проводятся исследования по изучению ландшафтной структуры, т.е. подстилающей поверхности с позиции метеоролога или климатолога. Ландшафтная карта позволила более точно ранжировать территорию ГЛБ с этой позиции и соответственно ввести свой коэффициент изменения вертикальных градиентов для каждого участка.

Для построения электронной динамической модели распределения метеозлементов была создана цифровая модель рельефа (ЦМР) путем оцифровки топографической основы. Исходные данные модели представлены в виде массива точек с координатами x, y, z (широта, долгота и высота). В соответствии с принадлежностью участка поверхности к той или иной ландшафтной единице ему присваивается тот или иной коэффициент изменения вертикального градиента. Все это позволяет получить карту распределения характеристик погоды на всю территорию ГЛБ через несколько минут после получения данных метеонаблюдений, а при использовании метеостанции, интегрированной с ЭВМ, – в тот же момент.

Изучение погоды и климата в рекреационных целях предполагает выявление специализированных показателей, таких как эффективная температура, рекреационный тип погоды, эффективная высота и интенсивность ультрафиолетовой радиации. При использовании описанной схемы анализа данных это опять же не составляет труда. Однако сложности все же есть. До сих пор слабо изучены особенности распределения ультрафиолетовой радиации, ее влияние на организм человека в горах, тем более в ледниковых районах. Поэтому в нашей модели мы используем общие закономерности ее распределения, предложенные В.А. Белинским – на каждые 100 метров подъема интенсивность ультрафиолетовой (УФ) радиации возрастает летом на 3–10, зимой на 10–20%. Для ледниковой зоны используется зимняя зависимость, т.к. величина альбеда здесь высока, как в летнее, так и в зимнее время. Предстоит выяснить также механизм влияния УФ-радиации на здоровье человека, в частности на возникновение и протекание горной болезни.

Изменение плотности атмосферного аэрозоля при пересечении Землей гелиосферного токового слоя

Ролдугин В.К., Тинсли Б.А. (rolldugin@pgi.kolasc.net.ru)

Полярный геофизический институт КНЦ РАН, Ферсмана 14, 184209 Апатиты Мурманской обл., Россия

Вариации спектральной оптической плотности аэрозолей 369 нм, спектральной прозрачности атмосферы 530 нм и показателя Юнге, усредненные по 8 станциям советской озонометрической сети севернее 55 град., исследовались по методу наложения эпох в интервале 6 дней *до* и 6 дней *после* пересечения Землей гелиосферного токового слоя (ГТС). Были выбраны два периода: 1983–1986 гг., после извержения Эль Чичона, и 1978–1982 и 1987–1989 гг., года без вулканической активности. Обнаружено, что для периода 1983–1986 гг. через два дня после пересечения ГТС прозрачность атмосферы возрастает, а плотность аэрозолей уменьшается. Этот эффект не наблюдается для периода без вулканической пыли и связывается с уменьшением выпадения релятивистских электронов после пересечения ГТС.

Показатель Юнге, определяющий размер аэрозолей, не изменяется при пересечениях ГТС, однако он меньше в период после извержения Эль Чичона. Средняя спектральная прозрачность атмосферы в этот период 1983–1986 гг. была выше, что может быть связано с эффектом солнечной активности.

О связи приземного озона с уровнем УФ-В радиации у поверхности Земли

Юрова А.Ю. (alla_urova@mail.ru), Чубарова Н.Е.

Метеорологическая Обсерватория, Московский Государственный Университет, геогр. фак., Воробьевы Горы, 119899 Москва, Россия

Известно, что истощение озонового слоя в стратосфере приводит к увеличению прихода к земной поверхности биологически активной УФ-В радиации. Однако параллельно с отрицательными трендами стратосферного озона, в тропосфере северного полушария наблюдается некоторый рост содержания приземного озона. Причиной такого роста является дополнительное фотохимическое образование озона при участии выбрасываемых в атмосферу Земли веществ антропогенного происхождения. Озон в нижнем слое атмосферы поглощает УФ-В радиацию более эффективно, чем в стратосфере, так как за счет существенно более интенсивного рассеяния УФ радиации в тропосфере на молекулах и аэрозольных частицах увеличивается оптический путь фотона и, следовательно, вероятность его поглощения. Поэтому, несмотря на то, что содержание озона в тропосфере мало по сравнению со стратосферой, изменение количества тропосферного озона может сказываться на приход УФ-В радиации и, в некоторых случаях, даже перекрывать эффект сокращения озона в стратосфере.

В настоящей работе ставятся две основные цели. Первая задача – оценить с помощью модели радиационного переноса, чувствительность УФ-В радиации у земной поверхности к изменению общего количества озона в тропосфере и к форме задаваемого профиля. Для этого используются возможные модификации стандартных средних профилей тропосферного озона, полученных по данным спутникового и наземного зондирования атмосферы. Второй задачей является исследование конкретных случаев распределения озона в тропосфере в различных синоптических условиях на основе реальных данных измерений озонозондов и модельная оценка уровня УФ-В радиации для рассмотренных ситуаций. При этом особое внимание уделяется анализу случаев, когда наблюдались заметные вторжения озона в тропосферу из стратосферы, которые обычно имеют место на холодных атмосферных фронтах, и максимальная частота появления которых приходится на зимний период. В этом случае за счет активного вертикального перемешивания увеличение

концентрации озона происходит во всем столбе тропосферы, в том числе и у поверхности Земли. Принципиально другие синоптические условия, при которых также наблюдаются повышенные концентрации озона у поверхности Земли, отмечаются в теплый период, когда может происходить дополнительное фотохимическое образование озона в загрязненном воздухе. Проведенные модельные расчеты уровня биологически активной УФ-В радиации показывают значение той или иной выбранной метеорологической ситуации с повышенными концентрациями приземного озона.

Данные измерений приземной концентрации озона прибором 2B Technology, которые осуществляются с июля 2001 г. в Метеорологической Обсерватории МГУ, а также проводимые наблюдения за стандартными метеорологическими параметрами и радиационными потоками, включая регулярные измерения биологически активной УФ-В радиации (прибор UVB-1, YES), позволяют произвести выбор интересующих случаев и сравнить модельные оценки радиационных потоков с измеренными величинами.

Работа выполняется в рамках международного проекта «Влияние изменчивости радиационных и метеорологических параметров на фенологию лесных растений» и при административном участии фонда CRDF (грант RGO-808).

Исследование действия неионизирующего и ионизирующего излучения на структуру молекулы ДНК

Юрченко А.А., Пастон С.В. (paston@pobox.spbu.ru), Зырянова И.М.

Санкт-Петербургский государственный университет, физ. фак., Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Электромагнитные излучения, пронизывающие земную атмосферу, являются одним из важнейших факторов зарождения и развития биосферы и как поставщики энергии, и как одна из причин возникновения мутаций и изменчивости живых организмов. Мутагенное действие радиации состоит, в основном, в химической модификации молекулы ДНК за счет энергии излучения, которая может передаваться на макромолекулу как непосредственно (в области спектра поглощения ДНК), так и косвенным путем (в случае ионизирующей радиации – взаимодействие с ДНК продуктов радиолиза воды). Спектр излучений у поверхности Земли достаточно широк; ничтожно малая компонента прошедшего через атмосферу солнечного света попадает в полосу поглощения ДНК ($\lambda_{\max} = 265$ нм), однако известно, что мутагенное и канцерогенное действие солнечных лучей обусловлено именно поглощением света азотистыми основаниями ДНК с их последующей модификацией (в основном, с образованием димеров). В частности, это позволяет рассматривать применение препаратов ДНК в качестве дозиметров солнечной радиации. На Земле также существуют природные и антропогенные источники ионизирующих излучений, создающие заметный фон. Прямой и косвенный механизмы действия на молекулу ДНК этих двух компонент атмосферной радиации – неионизирующего и ионизирующего излучений, соответственно, – можно моделировать, изучая воздействие УФ-света с длиной волны в области максимума поглощения макромолекулы и γ -излучения на водные растворы ДНК. В настоящей работе исследуются изменения в структуре ДНК, вызванные УФ- (254 нм, 4,9 эВ) и γ (^{137}Cs , 662 КэВ) облучением ее растворов при варьировании ионных условий.

Исследования проводились методами низкоградиентной вискозиметрии, двойного лучепреломления в потоке, кругового дихроизма и спектрофотометрии. Обнаружено, что поглощение дозы $2,4 \cdot 10^6$ Дж/кг УФ-излучения вызывает снижение объема молекулы ДНК на 50% при ионной силе раствора $\mu = 0,003\text{M NaCl}$. Аналогичный эффект вызывает γ -облучение в 10^5 раз меньшей дозой, причем и при УФ-, и при γ -облучении величина эффекта в широких пределах не зависит от интенсивности излучения. Полученная зависимость размеров облученной макромолекулы от ионной силы раствора, а также некоторые литературные данные позволяют предположить, что одной из возможных причин наблюдаемых

конформационных изменений в молекуле ДНК является уменьшение ее плотности заряда как в случае γ , так и в случае УФ-облучения.

Внутрисезонные вариации приземного озона и интенсивность ультрафиолетовой радиации на Кольском полуострове

Ролдугин В.К. (roldugin@pgi.kolasc.net.ru), Румянцев С.А., Белоглазов М.И., Карпечко А.Ю.
Полярный геофизический институт КНЦ РАН, Ферсмана 14, 184209 Апатиты Мурманской обл., Россия

Послеполуденные значения концентрации приземного озона в Ловозеро за 1999, 2000 и 2001 гг. были сопоставлены со значениями УФ радиации, измеряемой в Апатитах на приборе М-124. Несмотря на различие сезонных ходов и отсутствие суточных вариаций приземного озона в первую половину года, найдена статистически значимая положительная корреляция между обеими величинами, особенно заметная при сдвиге озоновых значений на один день.

Значения приземного озона сопоставлялись также с $MgII$ индексом, характеризующим внеатмосферную солнечную УФ радиацию. Несмотря на то, что в 2000 г. коэффициент корреляции оказался формально значимым, делается вывод об отсутствии связи между вариациями приземного озона и вариациями внеатмосферной УФ радиации.

Вариации содержания приземного озона под воздействием ультрафиолетовой радиации в условиях загрязненной атмосферы

Ролдугин В.К. (roldugin@pgi.kolasc.net.ru), Румянцев С.А., Белоглазов М.И., Карпечко А.Ю.

Полярный геофизический институт КНЦ РАН, Ферсмана 14, 184209 Апатиты Мурманской обл., Россия

Основными газами в приземной атмосфере, существенно влияющими на концентрацию озона, являются оксид и диоксид азота. Их взаимодействие с другими малыми компонентами воздуха моделировалось в ящичной модели, учитывающей 9 компонент и 30 фотохимических реакций. Задавались разные скорости образования NO , имитирующие городские условия, и рассматривалось поведение озона при разных скоростях фотодиссоциации и концентрациях предшественников озона. Оказалось, что содержание озона сильно зависит от этих факторов.

Когда содержание предшественников невелико, включение источника NO приводит к падению концентрации озона. С увеличением мощности источника NO уничтожение озона увеличивается. Этот процесс идет эффективно при низкой освещенности; на свету из-за диссоциации NO_2 с образованием атомарного кислорода и затем озона процесс замедляется.

В условиях большой концентрации предшественников при отсутствии фотодиссоциации содержание озона также падает с ростом мощности источника NO , но при сильной освещенности генерация озона из предшественников столь значительна, что наблюдается рост содержания озона.

Модельные расчеты хорошо согласуются с экспериментальными результатами, полученными на Кольском полуострове в местах с сильным и слабым антропогенным загрязнением. В загрязненном месте наблюдается четкая линейная зависимость между содержанием озона и освещенностью, показывающая, что с увеличением УФ потока содержание озона быстро возрастает. Для мест со слабым загрязнением эта зависимость значительно слабее.

СЕКЦИЯ 3. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РАДИАЦИИ С ОБЛАКАМИ И АЭРОЗОЛЕМ

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

Сопредседатель: проф. Г.И. Горчаков (ИФА РАН, Москва)

Изменчивость суммарной ультрафиолетовой, фотосинтетически активной и интегральной солнечной радиации при кучевых облаках

Абакумова Г.М., Незваль Е.И., Шиловцева О.А. (farom@gol.ru)

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геогр. фак., каф. метеорологии и климатологии, метеорологическая обсерватория, Воробьевы Горы, 119899 Москва, Россия

Важнейшим фактором, регулирующим приход солнечной и тепловой радиации на земную поверхность, является облачность. Проблема взаимодействия облачности и радиации имеет большое значение для построения моделей климата и прогноза его изменений. Разнообразие и быстрая изменчивость размеров, форм и свойств кучевых облаков затрудняет создание их радиационных моделей и эффективных параметризаций для климатических задач и задач прогноза погоды. В связи с этим особую актуальность приобретают экспериментальные исследования радиационных свойств кучевых облаков.

По данным многолетних ежечасных визуальных наблюдений за облачностью и наземных актинометрических измерений за тёплый период (май–сентябрь), проводимых в Метеорологической обсерватории МГУ, дана оценка влияния кучевых облаков на суммарную ультрафиолетовую (УФР, $\lambda \leq 380$ нм, 1968–1995 гг.), фотосинтетически активную (ФАР, 380–710 нм, 1980–1995 гг.) и интегральную (ИР, $\lambda \leq 4000$ нм, 1965–1995 гг.) солнечную радиацию.

При выборке значений солнечной радиации для каждого балла кучевых облаков (C_u , $C_u fr$, C_b) использовались только те сроки наблюдений, когда в предыдущий и последующий часы количество облаков оставалось таким же или изменялось не более чем на один балл. При отборе данных в градацию 10 баллов необходимым условием было также равенство в течение часа рассеянной и суммарной интегральной радиации.

За май–сентябрь 1965–1995 гг. общее число случаев, когда отмечались только кучевые облака (C_u , $C_u fr$, C_b), равно 7659. Это составляет около 11% от общего числа ежечасных наблюдений за облачностью в светлое время суток теплого периода. Наибольшая повторяемость кучевых облаков ($\approx 30\%$) приходится на май, наименьшая ($\approx 6\%$) – на сентябрь. В июне, июле и августе она составляла соответственно 22, 23 и 19%. Максимум повторяемости (более 24%) приходится на 1 балл кучевой облачности. Повторяемость 2–6 баллов кучевых облаков меняется незначительно (10–12%). При дальнейшем увеличении количества облаков их повторяемость заметно уменьшается и при сплошной кучевой и кучево-дождевой облачности составляет немногим более 2%.

Получены степенные уравнения, с достаточно высокой точностью аппроксимирующие зависимость суммарной УФР, ФАР и ИР от синуса высоты Солнца при различных баллах кучевых облаков, и их средние квадратические ошибки. Показано, что при больших высотах Солнца ($h > 50^\circ$) и увеличении количества облаков от 1 до 10 баллов коэффициент вариации для суммарной УФР возрастает от 10% до 50%, для суммарной ФАР – от 7% до 52%, а для суммарной ИР – от 6% до 48%. По мере уменьшения высоты Солнца коэффициент вариации резко возрастает и в интервале высот Солнца 20–30° при 10 баллах облаков превышает для УФР 60%, а для ИР – 70%.

Ослабление суммарной ИР и ФАР кучевыми облаками, характеризуемое отношением радиации при облаках к соответствующим величинам при безоблачном небе (C_q), примерно одинаково и заметно сильнее, чем УФР. В среднем оно не превышает 10% для УФР при количестве облаков $n = 3$ –6 баллов, для ФАР и ИР – соответственно при $n < 3$ и $n < 4$ баллов.

При 10 баллах мощных кучевых и кучево-дождевых облаков суммарная УФР, ФАР и ИР ослабляется на 80–90%. Хотя в среднем при кучевой облачности отмечается уменьшение суммарной УФР (исключение составляют значения $Cq = 1,01–1,02$ при $n = 1–2$ балла), ФАР и ИР, повторяемость случаев, когда отмечается её рост, достаточно велика: при облачности $n = 1$ балл она составляет для УФР около 60%, для ФАР – немногим более 30% и для ИР – 50%.

Влияние процессов рассеяния и отражения на поглощенные потоки в среде

Белов В.В. (belov@iao.ru)

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

В докладе приводятся и обсуждаются результаты теоретического исследования структуры световых потоков рассеянного и поглощенного излучения на границах и внутри дисперсной среды.

Рассмотрена классическая постановка задачи о характеристиках светового поля, возникающего в ограниченном (в направлении распространения падающего излучения) однородном слое среды при освещении его бесконечно широким параллельным оптическим пучком.

Исследования проведены для модельных сред, образованных ансамблем жестких сферических частиц, характеризующихся различной степенью вытянутости индикатрисы рассеяния, оптической толщиной и альбедо однократного рассеяния. Оптические толщины среды выбраны в диапазоне, перекрывающем область применимости приближений низших кратностей рассеяния, но не распространяющемся на глубинный режим.

В отличие от фундаментальных решений уравнения переноса излучения, обсуждаемые результаты получены методом Монте–Карло.

Цель исследований состояла в изучении влияния дальней от источника границы слоя (абсолютно поглощающей или отражающей) на пространственно-угловые характеристики диффузных световых потоков в среде и на распределение поглощенной в ней энергии.

Статистическими экспериментами выявлены условия, при которых зависимость поглощенной энергии от глубины проникновения излучения в среду может быть немонотонной. Исследована реакция этой характеристики, а также световых потоков, рассеянных в обе полусферы и угловых распределений рассеянного излучения внутри среды на изменение положения ее дальней от источника границы и вариации альбедо.

Дается интерпретация полученных зависимостей.

Аэрозольная оптическая толща в условиях лесных пожаров

Сакерин С.М., Макиенко Э.В., Рахимов Р.Ф., Кабанов Д.М. (temur@iao.ru)

Институт Оптике Атмосферы СО РАН, пр. Академический 1, 634055 Томск, Россия

Введение

Изучение условий возникновения и распространения в атмосфере дымовых аэрозолей в результате лесных пожаров и горения торфяников на обширных территориях, крайне важно для регионов Западной и Центральной Сибири. Особенно актуально исследование данной проблемы для выделения приоритетных факторов, определяющих изменение оптической прозрачности атмосферы на наклонных и горизонтальных трассах в летние сезоны, когда интенсивность таких событий резко возрастает. В работе анализируются данные спектральных измерений аэрозольной толщ атмосферы (АОТ), полученные в июле–августе 1999 года в г. Томске, когда дважды наблюдалось устойчивое нарастание замутнения атмосферы. В первом случае (8–22 июля) увеличение АОТ было связано с горением торфяников, расположенных на расстоянии 10–20 км от города. Вторичное повышение

мутности атмосферы с 24 июля по первую декаду августа также было обусловлено увеличением содержания дымовых аэрозолей, но в данном случае – за счет их дальнего переноса от лесных пожаров в Красноярском крае.

Метод

Для анализа данной оптической ситуации были привлечены результаты спектральных измерений АОТ в интервале длин волн 0,35–1,06 мкм. Эти данные были использованы для решения обратной задачи с целью восстановления межсуточной динамики среднего по толще спектра размеров частиц атмосферной дымки $s(r)$. При обращении применялся регуляризирующий алгоритм, основанный на построении сглаживающего функционала по методу А.Н. Тихонова и прямой минимизации его в k -мерном векторном пространстве.

Результаты и обсуждение

Результаты интерпретации оптических данных показали, что и в местных дымах горения торфяников и в дымах горения лесов, поступивших в район Томска путем дальнего переноса, увеличение АОТ в видимой области спектра обусловлено преимущественно ростом концентрации аккумулятивной фракции аэрозоля в области радиусов частиц 0,05–0,35 мкм с модой объемного распределения частиц по размерам $r = 0,2$ мкм. С возрастанием АОТ в коротковолновом диапазоне в среднем в 4 раза, концентрация этих частиц увеличивается более чем на порядок величины. В то же время, с появлением в атмосфере дыма горения торфяников резко снизилось содержание более крупных частиц с $r > 0,4$ мкм. В этих условиях аккумулятивная фракция в пределах точности оптических измерений определяла спектральную зависимость АОТ в диапазоне 0,35–1 мкм. С увеличением прозрачности атмосферы в период с 17 по 23 июля по мере ослабления источника дымовых аэрозолей содержание частиц с $r > 0,4$ мкм постепенно возрастало. Однако, даже в условиях высокой прозрачности (23.07) не достигло уровня, наблюдавшегося до поступления дыма. Напротив, в дымах дальнего переноса обнаруживается повышенное содержание частиц в интервале радиусов 0,4–1,1 мкм. Суммарный объем этих частиц в 2–3 раза выше, чем в условиях чистой атмосферы (6–7 июля). В этом случае оптический вклад среднedisперсных ($r > 0,4$ мкм) частиц составляет около 15% на длине волны 0,48 мкм, возрастая до 50% и более на длинах волн 0,87 и 1,06 мкм. Причины трансформации спектра размеров частиц в различных типах дымов анализируются в докладе.

Выводы

Исходя из восстановленной динамики изменения средневзвешенного спектра размеров частиц атмосферной дымки под воздействием активно действующего источника дымовых аэрозолей, можно сделать следующие предварительные выводы:

- в анализируемых ситуациях для двух типов дымов оптически наиболее значимыми в видимом диапазоне длин волн являются частицы в интервале размеров 0,05–0,4 мкм;
- обнаруженное различие микроструктуры дымов касается среднedisперсной фракции частиц, концентрация которых повышена в дымах, поступивших в пункт наблюдения путем дальнего переноса.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 01–05–65197, грант № 00–03–32422–а).

Влияние оптических характеристик аэрозоля на яркость неба вблизи горизонта: результаты численного моделирования

Журавлева Т.Б. (ztb@iao.ru), Насретдинов И.М., Сакерин С.М.

Институт оптики атмосферы СО РАН, пр. Академический, 1634055 Томск, Россия

Предварительные оценки показали, что зона горизонта представляет собой тот информативный объект, для которого можно получить относительно простые выражения взаимосвязи оптических характеристик приземного аэрозоля с приходящей радиацией. Эти соотношения могут быть использованы в дальнейшем для развития новых методов

определения альbedo однократного рассеяния аэрозольных частиц в различных участках спектра – одной из важнейших проблем переноса излучения в безоблачной атмосфере. Изучение закономерностей формирования яркости неба вблизи горизонта на основе численного моделирования (видимый диапазон), составляющее цель настоящей работы, является необходимым этапом при разработке такой параметризации.

Для расчета полей яркости приходящей солнечной радиации нами реализованы классические алгоритмы статистического моделирования для плоской и сферической моделей атмосферы (метод сопряженных блужданий), которые позволяют рассчитать яркостные характеристики неба для наиболее типичных геометрий эксперимента – альмукантарантное зондирование, зондирование в области горизонта и солнечного вертикала. Методика расчета учитывает релеевское рассеяние, рассеяние и поглощение аэрозольными частицами и отражение от подстилающей (ламбертовской) поверхности.

На первом этапе работы мы использовали данные алгоритмы для того, чтобы оценить влияние, которое оказывают на формирование яркости неба вблизи горизонта I (а) сферичность реальной атмосферы и (б) вертикальная неоднородность аэрозольных оптических характеристик. Необходимость проведения такого исследования обусловлена тем, что полученные ранее результаты других авторов не являются полными с точки зрения охвата области возможного изменения оптических параметров аэрозоля и с точки зрения геометрии эксперимента и нуждаются в уточнении.

В качестве характеристики, определяющей влияние сферичности атмосферы, рассмотрена величина $\Delta_{sph} = 100\% \cdot (I_{sph} - I_{pp}) / I_{sph}$, где индексы “sph” и “pp” соответствуют расчетам в сферической и плоской геометрии. Показано, что в области значений оптических толщин аэрозоля $\tau_{aer} > 0,15$ и зенитных углах Солнца $\xi_0 < 78^\circ$ значение Δ_{sph} не превышает 2–3%. При $\tau_{aer} < 0,15$ и/или $\xi_0 > 78^\circ$ влияние сферичности на поле яркости вблизи горизонта существенно увеличивается и может достигнуть десятков процентов. Для исследования влияния вертикальной стратификации коэффициента аэрозольного ослабления $\sigma(z)$ на интенсивность солнечного излучения рассмотрены различные модели $\sigma(z)$, $0 < z < 12$ км (τ_{aer} фиксирована): (1) $\sigma(z)$, соответствующее модели, рекомендованной *World Climate Program* (1986), (2) $\sigma(z) = \sigma_0 \exp(-z/H_0)$ и (3) $\sigma(z) = const$. Расчеты показали, что пренебрежение вертикальной неоднородностью $\sigma(z)$ в приземном слое $z < h$ ($h = 0,5–2$ км в зависимости от τ_{aer}) может привести к тому, что относительное различие яркости неба Δ_{vert} вблизи горизонта превысит 10% ($\tau_{aer} = 0,2$), особенно при больших значениях углов рассеяния θ . Величина погрешности Δ_{vert} уменьшается по мере возрастания τ_{aer} . В докладе представлены также результаты, характеризующие влияние на I вертикальной изменчивости альbedo однократного рассеяния аэрозоля.

Второй этап работы состоял в том, чтобы выявить основные факторы, влияющие на формирование яркости неба вблизи горизонта I и ее составляющие I_0 и I_M – интенсивности однократного и многократного рассеянного солнечного излучения. Мы рассмотрели также характеристики, которые могут быть полезными для получения соотношений между I и оптическими характеристиками аэрозоля: вклад одно- и многократно рассеянной радиации в яркость неба и “усеченные” факторы асимметрии яркости FA_I , FA_{I_0} и FA_{I_M} , где

$$FA_I = \frac{\int_{\theta_{min}}^{\pi/2} I(\theta) d\theta}{\int_{\pi/2}^{\theta_{max}} I(\theta) d\theta}, \quad \theta_{min} \text{ и } \theta_{max} - \text{минимальный и максимальный углы рассеяния}$$

при заданном ξ_0 . Расчеты выполнены для различных атмосферных условий (включая случаи умеренного и сильного поглощения излучения аэрозольными частицами) в широком диапазоне изменения зенитных углов Солнца.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ (N 02–05–64492).

О влиянии антропогенного фактора на изменчивость коэффициента аэрозольного светорассеяния и содержание сажи в приземном слое в весенних условиях

Козлов В.С., Панченко М.В., Яушева Е.П. (helen@iao.ru), Терпугова С.А., Полькин В.В.
Институт оптики атмосферы СО РАН, пр. Академический 1, 634055 Томск, Россия

В марте–апреле 2001 г. в рамках комплексной экспедиции ИОА СО РАН в районе г. Томска (Академгородок, аэрозольная станция ИОА) и на научном полигоне (п. Киреевск, 60 км от города, лесная зона) нами выполнялись в приземном слое синхронные круглосуточные измерения коэффициента аэрозольного рассеяния сухой основы аэрозоля на длине волны 0,50 мкм, массовой концентрации сажи и параметра конденсационной активности частиц. В двух пунктах наблюдений использовались одинаковые комплексы аппаратуры, содержащие для регистрации отмеченных характеристик в локальном объеме воздуха соответственно нефелометр типа ФАН с подогревом воздуха до 30° С, аэталометр (оптический сажмер) и нефелометр ФАН с устройством увлажнения аэрозоля в воздушном потоке до относительной влажности 95%. Данные автоматизированной станции аэрозольного мониторинга ИОА, работающей с 1997 г. в режиме круглосуточных почасовых измерений, доступны по сети Internet: <http://aerosol1.iao.ru>. В работе анализируются временные вариации среднесуточных значений аэрозольных характеристик, периоды значимых различий (город–фон) и их распределение по амплитуде отклонений, средний суточный ход разности аэрозольных параметров в двух пунктах и коэффициенты взаимной корреляции аэрозольных характеристик (в т.ч. с температурой воздуха).

Анализ результатов показал, что для весенних измерений доминирующую роль во временной изменчивости состояния аэрозоля играли процессы синоптической циркуляции, проявившиеся в межсуточных вариациях температуры (с периодом около 3 суток). Как следствие, значительная часть измерений соответствовала условиям неустойчивой погоды и частой смены воздушных масс (около 56% суточных реализаций). Циркуляционные процессы предопределили согласованную временную изменчивость и высокую корреляцию (0,75–0,91) аэрозольных параметров в городских и фоновых условиях. Роль внутрисуточных вариаций была снижена нивелирующим влиянием сплошной облачности и осадков (всего 9 безоблачных дней за период измерений).

Анализ статистически значимых различий “город–фон” по содержанию аэрозоля и сажи в условиях устойчивой погоды показал, что повторяемость таких среднесуточных реализаций за период измерений составила около 20–22%. Отмеченные временные интервалы в основном соответствовали более высокому содержанию аэрозоля и сажи в городе, что, по-видимому, можно рассматривать как проявление антропогенного фактора. Оценки с учетом динамики метеорологических параметров показали, что наблюдаемые различия, вероятнее всего, обусловлены более высокой для города интенсивностью накопления аэрозоля при невысокой скорости ветра. Около половины реализаций по коэффициенту аэрозольного рассеяния и концентрации сажи соответствует уровню превышения от 1,5 до 2 раз. На этот уровень приходится максимум повторяемости превышений по амплитуде отклонений с примерно одинаковым долевым вкладом для более низких и более высоких амплитуд. Из рассмотрения осредненных за месяц суточных ходов разностей “город–фон” следует, что в основном статистически значимое превышение содержания аэрозоля и сажи в городе наблюдается в вечерне–ночное время суток, тогда как в дневное время характеристики в двух пунктах практически не различаются.

За время весенних измерений наибольшие из регистрируемых значения коэффициента аэрозольного рассеяния и концентрации сажи составили 0,3 км⁻¹ и 3 мкг/м³ соответственно. В период с 27 марта по 5 апреля во временном ходе параметра конденсационной активности γ наблюдался характерный для весенних условий максимум с достижением значений $\gamma = 0,60$ при общих пределах его изменения от 0,17 до 0,60.

Отмечается заметная положительная корреляция концентрации сажи (0,6) и антикорреляция параметра γ (0,4–0,6) с коэффициентом аэрозольного рассеяния, т.е. с содержанием субмикронного аэрозоля. Также в работе анализируется изменчивость относительного содержания сажи в частицах.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 00–05–65204 и гранта № 358 (6-й конкурс экспертизы молодых ученых РАН 1999 г.).

Влияние облачности и аэрозоля на спектральные потоки рассеянного излучения в сумеречной полярной стратосфере

Беликов Ю.Е. (Yury_Belikov@mail.ru), Николайшвили Ш.С.
Институт прикладной геофизики, Ростокинская 9, 129128 Москва, Россия

Целью работы является анализ влияния полярных стратосферных облаков и обычной облачности на спектры рассеянного излучения, что важно для фотохимии, связанной с деструкцией озона. Создана численная модель рассеянного излучения в земной атмосфере. Модель позволяет рассчитывать поле рассеянной радиации с учетом эффектов многократного рассеяния для различных зенитных углов Солнца, распределения молекулярной и аэрозольной составляющих, а также озона. Модель тестировалась на различных экспериментальных данных и путем сравнения с другими моделями рассеянного излучения в земной атмосфере. В данной работе представлены спектры рассеянного излучения в сумеречной полярной стратосфере на высотах ~ 20 км. В работе показано, что наличие облачности существенно влияет на отношение потоков излучения в УФ (350–400 нм) и красной (600–650 нм) областях спектра.

Поляризационные эффекты при рассеянии микроволновой радиации в облачной атмосфере

Троицкий А.В., Ошарин А.М. (osh@nirfi.sci-nnov.ru)
Научно-исследовательский радиофизический институт, Б.Печерская 25, 603950 Н.Новгород, Россия

Явление поляризации теплового микроволнового излучения облачной атмосферы без осадков обнаружено в работе[1]. Это явление интерпретируется эффектами рассеяния микроволнового излучения на ориентированных облачных кристаллах различной формы. Исследование поляризационных эффектов, возникающих при распространении микроволнового излучения в облачной атмосфере, осуществлялось из решения задачи переноса поляризованного микроволнового излучения в смешанных облаках, содержащих рассеивающую компоненту (ледяные частицы) и поглощающую составляющую (водяные капли) с учетом эффектов многократного рассеяния. Показано, что знак второго параметра Стокса микроволнового излучения зависит от формы кристаллов, а его величина линейно связана с интегральным содержанием кристаллической фракции. Отношение вторых параметров Стокса на разных частотах микроволнового диапазона зависит от средних размеров облачных кристаллов. Показано, что при дисперсии углов ориентации кристаллов $\sim 20^\circ$ значения поляризационных характеристик практически не меняются. Выполнены экспериментальные исследования пространственно-временных и спектральных характеристик поляризации облачной атмосферы на частотах 94, 85 и 37 ГГц. Измеренные величины второго параметра Стокса излучения облачной атмосферы на частоте 37 ГГц в 2–6 раз меньше, чем на частотах 94 и 85 ГГц, что (согласно развитой теории) соответствует рассеянию на облачных кристаллах со средними размерами $\sim 0,05$ –1 мм. Для ряда облаков обнаружен эффект превышения абсолютной величины поляризационного контраста на частоте 37 ГГц относительно 94 и 85 ГГц, который может иметь место при резонансном рассеянии, когда средний размер облачных кристаллов достигает величины ~ 2 мм и более. Предложен и разработан поляризационный метод дистанционной диагностики

микрофизических параметров облаков – интегральной водности, ледности и средних размеров кристаллов из одновременных измерений первого и второго параметров Стокса на двух длинах волн миллиметрового диапазона. Определены оптимальные углы и частоты наблюдения.

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

Модифицированный формализм эффективной частицы в задачах распространения микроволнового излучения в снегопадах

Ошарин А.М. (osh@nirfi.sci-nnov.ru)

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

Решение задачи распространения микроволнового излучения в снегопадах сопряжено со значительными трудностями, одной из главных причин которых является нерегулярность формы и строения кристаллов льда и снежных хлопьев. Существует два основных подхода к решению такого рода задач. Первый базируется на так называемом **формализме эффективной частицы** и сводится к замене частицы сложной формы и строения более простой (чаще всего сферической) частицей, диэлектрические параметры которой и размер специальным образом подбирают, исходя из характеристик исходной частицы [1], а второй использует прямые методы вычисления рассеивающих характеристик частиц сложной формы, к числу которых принадлежит, например, широко распространенный метод взаимодействующих диполей [2].

Прямые методы отличаются чрезвычайно большими затратами машинного времени и, как правило, неприменимы для расчетов характеристик рассеяния сильно поглощающих частиц. Формализм эффективной частицы, напротив, свободен от этих ограничений, но имеет ограниченную область применимости по частоте. Причиной указанного ограничения является то обстоятельство, что традиционный формализм эффективной среды, который обычно используется для вычисления диэлектрической проницаемости эффективной сферической снежинки, не учитывает эффектов многократного рассеяния на включениях среды.

В коротковолновой части миллиметрового диапазона, где характерные размеры кристаллов льда и деталей их внутренней структуры становятся сопоставимы с длиной волны падающего излучения, использование указанного подхода становится неадекватным. Эта неадекватность проявляется в том, что никаким подбором параметров, входящих в формулы эффективной диэлектрической проницаемости, не удастся воспроизвести «правильный» частотный ход коэффициента ослабления.

Для того, чтобы учесть эффекты внутрикластерного рассеяния в снежных хлопьях, мы воспользовались одной из модификаций традиционной теории эффективной среды, полученной в работе [3]. Использование этой модификации для вычисления эффективной диэлектрической проницаемости сферических частиц, моделирующих снежные хлопья, позволяет воспроизвести тот вид частотной зависимости коэффициента ослабления миллиметровых радиоволн в сухих снегопадах, который получается на основе расчетов по методу взаимодействующих диполей.

1. Ошарин А.М. О применимости формализма эффективной частицы в задачах распространения миллиметровых радиоволн в снегопадах. Материалы 8-й Межд. Крымск. Микроволн. Конф. КрыМиКо'98, Севастополь, 14-17 сентября 1998, **1**, 288-289.
2. Purcell E., Pennypacker C. Scattering and absorption of light by nonspherical dielectric grains. *Astrophys. J.*, 1973, **186**, 2(1), 705-711.
3. Tsang L., Kong J.A. Multiple scattering of electromagnetic waves by random distributions of discrete scatterers with coherent potential and quantum mechanical formalism. *J. Appl. Phys.*, 1980, **51**, 7, 3465-3485.

Пространственные корреляции между флуктуациями энергетической яркости полей облачности в интервалах диапазона 1,5–13 мкм

Алленов М.И. (allenov@typhoon.obninsk.org), Алленов А.М., Овчинников В.В.

Институт экспериментальной метеорологии НПО «Тайфун», пр. Ленина 82, 249038 Обнинск Калужской обл., Россия

На основе многолетних исследований пространственно-временных и спектральных структур полей излучения кучевой (Cu) и слоисто-кучевой (Sc) облачности приводятся корреляционные связи между флуктуациями энергетической яркости для интервалов: 1) 1,5–1,8; 2) 2,0–2,4; 3) 3,0–5,2; 4) 4,0–5,2; 5) 8–13 мкм в зависимости от угла $\bar{\psi}$ – между направлениями на Солнце и на “центр” поля облачности. Были исследованы связи для $\bar{\psi} \approx 30, 60$ и 90° и $\bar{\psi} \geq 120^\circ$ и различного количества облачности для Cu: 1–3, 4–6 и 7–9 баллов; для Sc: 4–6 и 7–9 баллов. Для каждого среднего угла $\bar{\psi}$ были набраны серии, состоящие из 5 реализаций, зарегистрированных за время ≤ 20 с. Коэффициенты взаимной корреляции осреднены по 8 и более значениям для каждой облачности при различном количестве. Длина реализации по азимутальному углу в среднем составляла 60° , каждая проквантована с шагом 3–10 минут дуги, количество значений было ≥ 600 .

В докладе в виде таблиц приводятся анализ и значения коэффициентов взаимной корреляции для различных $\bar{\psi}$ и метеорологических ситуаций.

Специфические межмолекулярные взаимодействия и проблемы дистанционного зондирования кислотного аэрозоля

Бурцев А.П. (burcev@molsp.phys.spbu.ru), Бочаров В.Н., Кисляков И.М.

Институт физики, Санкт-Петербургский Университет, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Петродворец, Россия

Методы контроля аэрозоля, основанные на изучении спектральной зависимости обратного рассеяния лазерного излучения ИК диапазона достаточно активно применяются на практике. Характеристики этого эффекта в значительной степени определяются величиной и дисперсией реальной части показателя преломления вещества аэрозоля. Специфические межмолекулярные взаимодействия приводят к трансформации спектра поглощения, а, значит, и к заметным изменениям реальной части показателя преломления. Поскольку в реальной атмосфере происходит обводнение кислотного аэрозоля, необходимо изучать концентрационную зависимость абсорбционных характеристик растворов.

Были изучены спектры поглощения водных растворов плавиковой кислоты различных концентраций в тонком слое (10 мкм) с помощью спектрофотометра IFS-28 Bruker в области $4000\text{--}800\text{ см}^{-1}$. Обнаружено сужение области ИК поглощения, приводящее для чистой плавиковой кислоты к непрерывному поглощению в области $4000\text{--}1000\text{ см}^{-1}$. Обработка спектров с использованием соотношений Крамерса-Кронига дала возможность получить данные о дисперсии реальной части показателя преломления. Анализ данных показывает, что обводнение капельного HF-аэрозоля приводит к резкому снижению эффективности обратного рассеяния, а, следовательно, уменьшает возможность его дистанционного контроля в реальной атмосфере.

Метод определения оптических толщ рассеяния из наблюдений яркости неба

Журавлева Т.Б. (ztb@iao.ru)

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

Павлов В.Е. (pavlov@iwer.ab.ru), Пашнев В.В.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

На основе численных данных решения уравнения переноса излучения в атмосфере (методом Монте-Карло) выведены аппроксимационные формулы для определения аэрозольных оптических толщ рассеяния из наблюдений яркости безоблачного неба в солнечном альмукантарате. Формулы пригодны для малой и большой мутности атмосферы при наличии поглощающих и чисто рассеивающих частиц. Возможность разделения аэрозольной оптической толщины на компоненты поглощения и рассеяния позволяет оценить альбедо однократного рассеяния частиц. Формулы использованы для анализа данных наблюдений спектральной прозрачности атмосферы и яркости неба в условиях промышленного города и некоторых аридных районах земного шара. Обсуждаются возможности применения предложенной методики к данным, полученным на основе солнечных фотометров сети AERONET.

Фотостимулированные процессы с участием летучих органических соединений на поверхности минеральных компонентов природного аэрозоля

Иванов А.Р., Исидоров В.А. (vgpovarov@rambler.ru, eco@nonel.pu.ru)

Санкт-Петербургский Государственный Университет, хим. фак., 198504 Санкт-Петербург

В последние годы опубликовано много работ, посвящённых фотохимическим реакциям в атмосфере. Наименее изученными остаются гетерогенные процессы с участием летучих органических соединений (ЛОС). Литературы, посвященной исследованию механизмов фотостимулированных процессов подобного рода мало [1-7].

Данное исследование посвящено изучению значимости ранее не учитывавшихся стоков летучих органических соединений (ЛОС) из атмосферы. Решение поставленной задачи было осуществлено следующим образом:

- проведено фотостимулированное окислительное разложение ЛОС, включая озонразрушающие и «парниковые» газы на поверхности компонентов природного аэрозоля, в условиях, моделирующих атмосферные;
- измерены константы скоростей гетерогенных процессов псевдопервого порядка наблюдаемой фотостимулированной убыли паров исследуемых органических соединений из газовой фазы и сопоставлены со скоростями накопления продуктов реакции;
- установлены пути эволюции компонентов природного аэрозоля под действием света, близкого по спектральным характеристикам к солнечному в присутствии ЛОС и выявлены механизмы этих фотостимулированных процессов.

На основании полученных результатов можно утверждать, что в условиях нижней атмосферы на поверхности полупроводниковых частиц аэрозоля под действием солнечной радиации протекают процессы с участием адсорбируемых ЛОС и воды, по значимости сравнимые с гомогенными реакциями. Это необходимо учитывать при моделировании атмосферных процессов.

Среди ЛОС, присутствующих в атмосфере и исследованных в настоящей работе были: CCl_4 , CHCl_3 , CFCl_3 , CF_2Cl_2 , CH_3CCl_3 , диметилсульфид, н-пентан, бензол, о-ксилол, п-ксилол, м-ксилол, а также изопрен.

Изопрен был выбран ввиду его большой роли в фотохимических и биологических процессах [1]. На примере этого вещества была сделана попытка обнаружения

закономерностей протекания каталитического окисления под действием ультрафиолетового излучения. В качестве модельных объектов были использованы оксиды SiO_2 , TiO_2 и WO_3 , которые являются компонентами природного аэрозоля [1–6]. Синтез и модификация композиций твердых оксидов проведены с учетом известных методов получения катализаторов [8, 9]. Облучение проводили полным светом ртутной лампы среднего давления в замкнутом объеме. Контроль за составом газовой фазы осуществляли методом газовой хроматографии. Были получены константы реакции псевдопервого порядка убыли изопрена из газовой фазы (K_1) и выделения CO_2 (K_2) для двадцати семи фотокатализаторов. Воспроизводимость измерения величин констант не превышала 20%. Для сравнения активности фотокатализаторов использовалась величина $X = K_2/K_1$, где K_2 – наблюдаемая константа выделения CO_2 , $(\text{с} \times \text{г})^{-1}$; K_1 – наблюдаемая константа убыли изопрена при облучении, $(\text{с} \times \text{г})^{-1}$, для данного катализатора. Величина X позволяет оценить каталитическую активность безотносительно к величине поверхности катализатора.

Нас интересовали не свойства катализаторов в зависимости от их состава, а взаимосвязь процессов убыли изопрена из газовой фазы и накопления продукта его полного окисления – CO_2 . Следует отметить, что в опытах по облучению изопрена полным светом ртутной лампы без катализатора, также наблюдалась убыль этого реагента из газовой фазы. Однако накопления CO_2 при этом не происходило. Полученная зависимость $X(K_1)$ говорит о существовании обратной связи процессов фотоадсорбции и фотоокисления. Возможно, это происходит за счет восстановления поверхностного слоя фотокатализатора. Так, образцы диоксида титана, восстановленные углем и содержащие по данным оптической спектроскопии низковалентный титан, обладали более высокой фотокаталитической активностью. В тоже время скорость убыли пентана из газовой фазы под действием УФ-излучения на таких образцах была меньше.

1. Исидоров В.А. Органическая химия атмосферы. СПб., 1992.
2. Исидоров В.А., Клокова Е.М., Козубенко С.Г., Иванов А.Р. Фотокаталитическое разложение ароматических углеводородов на поверхности компонентов природного аэрозоля. *Вестн. СПбГУ*, сер. 4, 1992, вып.2 (N11), 97-100.
3. Исидоров В.А., Клокова Е.М., Поваров В.Г., Иванов А.Р. О роли фотостимулированных гетерогенных процессов в тропосферной химии органических компонентов. *Журн. эколог. химии*, 1992, 1, 60-67.
4. Исидоров В.А., Клокова Е.М., Згонник П.В. Фотокаталитическое окисление изопрена и монотерпенов на поверхности компонентов природного аэрозоля. *Вестн. ЛГУ*, сер.4, 1990, вып.3(18), 61-66.
5. Крутицкая Т.К. Фотоадсорбция O_2 , N_2 , NO и природа активных кислородсодержащих комплексов на поверхности оксидов алюминия и бериллия. Автореф. канд. дис., СПб., 1995.
6. Isidorov V., Povarov V., Nikitin V., Ivanov A. Photostimulated oxidation of methane and dimethylsulfide on the surface of natural aerosol components. *Chem. Proces. in the Troposphere*, Brussels, Luxemburg, 1996, p.45.
7. Khader M., Lichtin N. e.a. Photoasisted catalytic disociation of water and reduction of nitrogen to ammonia on partically reduced ferric oxide. *Langmuir*, 1987, 10, 3, 303-304.
8. Алесковский В.Б. Стехиометрия и синтез твердых соединений. Л. 1976.
9. Танабе К. *Катализаторы и каталитические процессы*. Пер. с англ. А.А. Кубасова; под ред. Б.В. Романовского, М., 1993.

Аппаратура и методика оценки альbedo однократного рассеяния для локальных объемов воздуха

Козлов В.С. (vkozlov@iao.ru), Тихомиров А.Б., Панченко М.В., Тихомиров Б.А.
Институт оптики атмосферы СО РАН, пр. Академический 1, 634055 Томск, Россия

При решении многих радиационно-климатических задач важная роль отводится изучению характеристик аэрозольного поглощения, как одного из наиболее значимых факторов в формировании неселективного ослабления радиации в видимой области спектра. Основной поглощающей субстанцией в атмосферном аэрозоле является сажа, которая оказывает значительное воздействие на прозрачность атмосферы, альbedo облаков и снежного покрова. Все более насущным становится изучение динамики изменения аэрозольного поглощения под воздействием атмосферных геофизических факторов.

Величина альbedo однократного рассеяния является важной оптической характеристикой поглощающих свойств аэрозоля, определяющей соотношение в ослаблении процессов светорассеяния и поглощения. Оценки альbedo в реальных условиях осложняются необходимостью измерения низких значений коэффициента аэрозольного поглощения и, следовательно, нуждаются в разработке достаточно точных методик его регистрации. В работе рассматривается аппаратура и методика для выполнения в приземном слое в локальном объеме воздуха оперативных синхронных измерений на длине волны 0,52 мкм коэффициентов аэрозольного рассеяния и поглощения и определения на их основе величины альbedo однократного рассеяния субмикронной фракции аэрозоля.

Для определения коэффициента аэрозольного рассеяния используется нефелометрический метод измерения прозрачности. С этой целью регистрируется рассеяние под определенным “нефелометрическим” углом и с учетом известного значения нормированной индикатрисы определяется величина коэффициента аэрозольного рассеяния. Для измерений коэффициента направленного аэрозольного рассеяния под углом 45° на длине волны 0,52 мкм используется нефелометр типа ФАН. Абсолютная калибровка прибора была выполнена на основе измерений светорассеяния чистыми газами (азот, аргон и др.) по известным значениям молекулярного рассеяния света при контролируемом давлении газа. Чувствительность нефелометра обеспечивает регистрацию сигналов, начиная с уровней молекулярного рассеяния света, около $0,001 \text{ км}^{-1} \text{ ст}^{-1}$. Для нормированной индикатрисы рассеяния под углом 45° (нефелометрическое соотношение), вероятнее всего, следует использовать значение 1/7, которое соответствует средним оценкам по данным теоретических расчетов и многочисленных измерений для мелкодисперсной фракции аэрозольных частиц. Средняя погрешность определения величины коэффициента аэрозольного рассеяния с учетом погрешностей калибровки нефелометра и оценки нефелометрического соотношения составляет около 20%.

Для измерений коэффициента аэрозольного поглощения в видимой области спектра используется метод оптико-акустической спектроскопии, который в настоящее время рассматривается как наиболее перспективный для высокоточных оперативных измерений поглощающего аэрозоля. С этой целью был создан импульсный оптико-акустический (ОА) спектрометр с ячейкой большого размера. Спектрометр содержит импульсный Nd: YAG лазер, ОА детектор с блоками регистрации формы сигнала, системы для контроля параметров лазерных импульсов и для забора атмосферного воздуха. Применение в ОА детекторе поглощающей ячейки большого размера с объемом 10 литров позволяет реализовать пространственно-временное разрешение ОА сигналов различной природы. За счет этого достигается надежная селекция и детектирование сигнала аэрозольного поглощения, не отягощенного влиянием паразитных фонов, молекулярного и аэрозольного рассеяния.

Использование отражателей для фокусировки импульсов давления позволило более чем на порядок повысить энергетический потенциал спектрометра и измерять коэффициент аэрозольного поглощения по одному лазерному импульсу. Достигнута чувствительность по коэффициенту поглощения около $10^{-6} \text{ км}^{-1} \cdot \text{Дж}^{-1}$. Калибровка спектрометра осуществлялась по известному резонансному поглощению излучения лазера на рубине водяным паром в центре линии поглощения 694,38 нм. Спектрометр позволяет измерять коэффициент аэрозольного поглощения на длине волны 532 нм со средней погрешностью около 20%.

Разработанный в работе аппаратурно-методический подход будет применен для выполнения регулярных синхронных измерений рассеивающих и поглощающих характеристик аэрозоля и оценок изменчивости альbedo однократного условия в реальных условиях под воздействием геофизических факторов.

Работа выполняется при поддержке РФФИ (грант № 00–05–65204).

Влияние влажности на локационное рассеяние ансамбля малых частиц

Кокорин А.М (kokorin@gk3103.spb.edu), Шифрин К.С.

С.-Петербургский Филиал Института океанологии РАН, 1-ая Линия ВО 30, 199053 Санкт-Петербург, Россия

В работе теоретически анализируется влияние влажности воздуха на показатель (ПР) и индикатрису рассеяния назад (ИРН) ансамбля малых гигроскопичных и неоднородных частиц прибрежного морского аэрозоля в пограничном слое атмосферы. Анализ выполнен в приближении полидисперсных систем частиц (ПСЧ), просветленных (ПС), двухслойных и однородных сфер в диапазоне размеров и оптических констант, характерных для частиц морского аэрозоля. Спектр размеров частиц аккумулятивной и грубодисперсной составляющих реального аэрозоля описывался зависимостью типа Юнге. Модель ПС представляла собой двухслойную сферическую частицу с однородным непоглощающим ядром и степенным профилем показателя преломления неоднородной оболочки. Рассмотрены результаты численного моделирования характеристики ПР и ИРН для двух возможных механизмов обводнения ансамбля аэрозольных частиц во влажной атмосфере:

- равномерное набухание всего объема частиц с уменьшением показателя преломления и увеличением размеров частиц (модель однородной сферы);
- укрупнение частиц с частичным растворением первоначально сухого ядра (модель ПС, модель двухслойной сферы).

Установлено, что в переменном поле влажности воздуха ПР слабо чувствителен к внутренней структуре частиц. При существенно различных условиях расчета характеристика ПР с погрешностью, не превышающей 8–10 процентов, может быть аппроксимирована с помощью модели однородных частиц со средним по объему показателем преломления. Характеристика ИРН частиц существенным образом зависит от механизма обводнения гигроскопичных частиц во влажном воздухе и микроструктурных характеристик ансамбля малых неоднородных гигроскопичных частиц, моделирующих реальный аэрозоль. В процессе обводнения ансамбля частиц с внутренней структурой типа ПС выявлены эффекты "просветления" и "замутнения" (РН моделей однородных и двухслойных частиц соответственно больше (меньше) ИРН модели ПС). Указанные эффекты проявляются как для малых (при относительной влажности (ОВ) меньше 10 процентов) и больших внешних оболочек (при ОВ больше 60 процентов). Определены области изменения микроструктурных параметров, для которых выполняются эти эффекты. Показано, что с увеличением в рассеивающем объеме доли крупных частиц влияние этих эффектов существенно усиливается. ИРН ансамбля ПС для эффектов "просветления" и "замутнения" не может с удовлетворительной точностью быть аппроксимирована с помощью идентичных (в смысле распределения частиц по размерам) ПСЧ однородных или двухслойных сфер. При этом неучет внутренней структуры типа ПС в условиях переменной влажности воздуха может служить причиной серьезных ошибок (порядка величины и более) при аппроксимации ИРН а, следовательно, и при интерпретации результатов оптической локации и лазерного зондирования дисперсных сред.

Для решения обратной задачи лазерной локации для длины волны излучения 0,53 мкм получена аппроксимация, описывающая связь отношения индикатрисы рассеяния назад к показателю рассеяния ансамбля ПС с его параметрами распределения частиц по размерам, показателем преломления и ОВ атмосферы. Исследована точность этой аппроксимационной формулы.

Роль аэрозоля атмосферы в прохождении солнечной радиации в г. Ташкенте

Кратенко А.Ю. (sanigmi@meteo.uz)

Среднеазиатский научно-исследовательский гидрометеорологический институт им. В. А. Бугаева (САНИГМИ), ул. К.Махсумова 72, 700052 Ташкент, Республика Узбекистан

В последние годы снова возрос интерес к изучению атмосферного загрязнения, являющегося результатом интенсивной хозяйственной деятельностью человека. В силу специфических климатических условий Среднеазиатский регион является чрезвычайно интересным объектом экспериментальных и теоретических исследований атмосферного аэрозоля и его влияния на различные радиационные процессы.

Напряженная экологическая ситуация, сложившаяся в регионе в связи с интенсивными процессами усыхания Аральского моря под влиянием хозяйственной деятельности человека, увеличила число источников аэрозолей в атмосферу, повысила ее общую загрязненность. Высохшая часть моря стала основным очагом выноса пыли и соли на территорию, прилегающую к зоне усыхания. Мелкодисперсные частицы аэрозолей могут распространяться на многие тысячи километров, увеличивая загрязнение атмосферы многих городов Республики Узбекистан, в том числе и города Ташкента. Кроме того, возросло загрязнение атмосферы за счет влияния антропогенных факторов. По некоторым оценкам общее количество аэрозолей промышленного происхождения составляет от 5 до 45% массы всех аэрозолей, т.е. $(3-10) \cdot 10^2$ т/год.

Промышленные аэрозоли активно влияют на оптические свойства атмосферы, сильно поглощая солнечную радиацию. Рядом авторов установлено, что антропогенные и естественные источники вносят примерно равный вклад в загрязнение атмосферы многих городов мира, в том числе и г. Ташкента. По нашим оценкам воздействие аэрозоля на солнечную радиацию в г. Ташкенте постоянно изменяется по сезонам и месяцам. В период июнь–август эти изменения составляют 5–20 %, март–май и ноябрь–декабрь 5–7 %. Следует отметить, что в отдельные месяцы летнего периода наблюдается увеличение этих изменений до 20–25 %.

Многолетними наблюдениями в г. Ташкенте установлено, что весеннее и осеннее количество осадков превосходят летнее на 90–95 %, что приводит к выносу аэрозолей из атмосферы города в холодное время года.

Рассчитан объемный коэффициент аэрозольного рассеяния в различные сезоны и месяцы. Получены зависимости различных радиационных параметров от данного коэффициента в видимой области спектра и области ФАР.

Установлено, что в области спектра ФАР прямая солнечная радиация и объемный коэффициент аэрозольного рассеяния можно описать линейными уравнениями с коэффициентами корреляции – 0,985 (весна); 0,980 (лето); 0,988 (зима). Остальные радиационные параметры связаны с данным коэффициентом эмпирическими соотношениями с коэффициентами корреляции в пределах 0,978–0,994.

Рассмотрено ослабление солнечной радиации при различных оптических массах атмосферы. Получено, что при одной и той же концентрации аэрозольных частиц увеличение массы атмосферы приводит к увеличению поглощения прямой солнечной радиации на перпендикулярную поверхность на 5–10% ($h_{\Theta} = 0-10^{\circ}$); 10–13% ($h_{\Theta} = 10-30^{\circ}$); 13–17% ($h_{\Theta} = 30-50^{\circ}$); 17–22% ($h_{\Theta} = 50-70^{\circ}$).

Отмеченные особенности поглощения солнечной радиации характерны для идеальных условий атмосферы. В реальных условиях атмосферы поглощение солнечной радиации зависит от многих климатических факторов, особенно от облачности, которая может дополнительно усилить поглощение на 5–15 %.

Получено, что с увеличением числа аэрозольных частиц на 5–10% ослабление прямой солнечной радиации на перпендикулярную поверхность увеличивается на 10–15% (видимая область спектра).

Отмечено, что при увеличении концентрации аэрозольных частиц в два раза поглощение прямой солнечной радиации на перпендикулярную поверхность увеличивается на 15–22%. Дальнейшее увеличение аэрозольных частиц увеличивает поглощение прямой солнечной радиации на перпендикулярную поверхность на 25–30%.

Кинетика конденсации аэрозоля под действием радиации

Курасов В.Б. (Victor.Kurasov@pobox.spbu.ru)

Научно-исследовательский институт физики, СПбГУ, ул. Ульяновская 1, Санкт-Петербург-Петродворец, 198504, Россия

Под действием радиации в атмосфере неизбежно возникают положительные и отрицательные заряженные центры, на которых в дальнейшем происходит образование аэрозольных существенно закритических образований жидкой фазы. Особенностью, характерной для атмосферы, является наличие в ней достаточно большого количества паров различных веществ (например, наряду с водяным паром в атмосфере присутствуют пары серной кислоты), так что необходимо говорить о многокомпонентной конденсации аэрозоля. В этой связи оправдано построение аналитической теории многокомпонентной конденсации на двух типах заряженных ядер, которое было проведено в настоящей работе.

Основой теории является термодинамическое выражение для свободной энергии образования критического зародыша и зародышей, близких к критическому. Оно может быть получено в капиллярном приближении на основе метода разделяющих поверхностей Гиббса. Также можно говорить об уточнении данного выражения при помощи микроскопических поправок, которые также могут найти свое обоснование в рамках метода разделяющих поверхностей Гиббса. Рассмотрение многокомпонентной нуклеации приводит к тому, что центральным моментом рассмотрения становится уравнение адсорбции Гиббса, которое в конечном итоге служит для определения положения критической точки на плоскости характеристик зародыша.

Асимметрия высот активационных барьеров по отношению к знаку заряда ядра служит причиной, по которой нуклеация на зарядах различного знака будет протекать с различной скоростью. Это вносит принципиальную сложность в построение глобальной картины протекания фазового перехода. С одной стороны, заряды, на которых активно образуются капли, быстро истощаются, с другой стороны, они активно потребляют пар и тем самым препятствуют образованию новых капель. Количественный учет всех данных связей может быть осуществлен на основе решения системы интегро-дифференциальных уравнений, которое и представляет основную математическую сложность построения теории.

Аналитическое изучение процесса конденсации было проведено в двух характерных случаях мгновенного создания начальной метастабильности в условиях постепенного изменения внешних условий, приводящего к появлению метастабильности в системе. Поведение системы в этих случаях будет совершенно различным. Соответственно приходится применять и различные подходы для описания эволюции в этих случаях. Причина такого различия заключена в различном взаимодействии между каплями, образовавшимися на центрах различных типов. При мгновенном создании метастабильности капли на различных типах центров начинают образовываться одновременно и активные гетерогенные центры не могут исчерпаться до начала образования капель на не столь активных гетерогенных центрах. При постепенном создании метастабильности в системе как раз может сложиться ситуация, при которой активные центры оказываются исчерпанными задолго до начала относительно интенсивного (по сравнению с максимальным) образования капель на других центрах. Но в то же время капли, уже образованные на активных центрах, интенсивно поглощают пар, управляя таким образом течением фазового перехода.

Построенная аналитическая теория дает описание всех возможных ситуаций и предсказывает финальные характеристики процесса образования аэрозоля в атмосфере.

Сезонные особенности суточного хода микроструктурных параметров для приземного аэрозоля

Полькин В.В. (victor@iao.ru), Панченко М.В. (pmv@iao.ru)

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

В 1999–2002 гг. на аэрозольной станции ИОА СО РАН, расположенной на восточной окраине г. Томска, в составе комплекса аппаратуры выполнялись регулярные круглосуточные измерения общей концентрации аэрозольных частиц в диапазоне радиусов $r = 0,2\text{--}5$ мкм с помощью автоматизированного фотоэлектрического счетчика частиц ПКГТА. В настоящем сообщении приводятся результаты анализа суточного хода абсолютных значений общей концентрации $N(r = 0,2\text{--}5$ мкм) и нормированных на среднесуточную концентрацию для сезонов года (зима, весна, лето, осень). Анализируется суточная изменчивость интегрального параметра распределения частиц по размерам – $N_{\text{суб}}/N_{\text{гр}}$ (в этом выражении $N_{\text{суб}}$ – концентрация субмикронных частиц в диапазоне радиусов $r = 0,2\text{--}0,5$ мкм, $N_{\text{гр}}$ – концентрация грубодисперсных частиц с радиусами $r = 0,5\text{--}1$ мкм). Данное отношение в общих чертах описывает поведение функции распределения частиц по размерам, по крайней мере, в диапазоне, определяющем оптические характеристики аэрозоля в видимой области спектра. Ранее нами и другими исследователями на суточных зависимостях абсолютных и нормированных значений общей концентрации $N(r = 0,2\text{--}5$ мкм) для всех сезонов года отмечалось наличие характерных двух максимумов – утреннего и вечернего, и двух минимумов – ночного и дневного. Особенности сезонных изменений суточного хода для общей концентрации проявляются в сближении максимумов зимой (11 и 12 часов) и их взаимное удаление летом (8 и 22 часа). Отмеченные особенности суточного хода общей концентрации вероятнее всего объясняются сезонными вариациями временного промежутка и интенсивности инсоляции в течение суток. Когда в статистическую обработку брались все возможные погодные ситуации, наибольшая выраженность экстремумов для нормированных характеристик проявлялась для лета и весны, наименьшая для зимы. При обработке ситуаций, в которых балл облачности менялся в пределах 0–2, что соответствует радиационному типу погоды, выраженность экстремумов выравнивается для всех сезонов. Очевидно, что на выраженность суточного хода параметров влияет синоптическая ситуация, наличие или отсутствие облачности, ветра, приземных инверсий и антропогенных источников аэрозоля. Выравнивания выраженности экстремумов для радиационного типа погоды параметра $N_{\text{суб}}/N_{\text{гр}}$ для различных сезонов года не происходит. Наименьшая выраженность этого параметра наблюдается для зимы (диапазон вариаций – разница между максимальными и минимальными значениями – не превышает 20%), наибольшая выраженность – для весны (диапазон вариаций – 110%). Тенденция изменения $N_{\text{суб}}/N_{\text{гр}}$ в течении суток имеет общий характер для всех сезонов года: повышение значений для темного времени суток (максимум около 0–1 часов) и понижение для светлого времени. Для весны и лета минимум значений $N_{\text{суб}}/N_{\text{гр}}$ наблюдается в 12–13 часов. Кроме того, для лета в утренние часы (5–6 часов) наблюдается небольшой, но отчетливо проявляющийся максимум. Анализ поведения сезонной изменчивости суточных вариаций для каждой из фракций $N_{\text{суб}}$ и $N_{\text{гр}}$, нормированных на среднесуточные значения, показал следующее. Для зимы $N_{\text{суб}}$ и $N_{\text{гр}}$ изменяются практически синхронно, что и объясняет малый диапазон вариаций $N_{\text{суб}}/N_{\text{гр}}$. Для весны очевидно явное преобладание субмикронной фракции над грубодисперсной в темное время суток ($N_{\text{суб}}$ достигает своих максимальных значений, а $N_{\text{гр}}$ меньше своих среднесуточных значений). В светлое время суток для весны наблюдается явное обеднение аэрозоля в области субмикронных частиц

($N_{\text{суб}}$ достигает своих минимальных значений, а $N_{\text{гр}}$ варьирует около своих среднесуточных значений). Для лета характер поведения нормированных $N_{\text{суб}}$ и $N_{\text{гр}}$ такой, что отношение $N_{\text{суб}}/N_{\text{гр}}$ в светлое время суток изменяется как для весны, но с меньшей амплитудой, а в темное время суток наблюдается некоторое преобладание субмикронной фракции над грубодисперсной, меньшее, чем для весны.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 00–05–65204).

Фактор роста коэффициента рассеяния субмикронного аэрозоля в приземном слое атмосферы (Западная Сибирь)

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

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

Относительная влажность воздуха является одним из наиболее важных динамических факторов трансформации оптических характеристик частиц атмосферного аэрозоля. Под влиянием влажности происходит изменение коэффициентов ослабления и рассеяния (а именно эти величины в первую очередь определяют энергетику взаимодействия солнечной радиации с аэрозолем) на сотни процентов.

Для корректного учета влияния относительной влажности воздуха в динамических моделях оптических характеристик необходимо исследовать конденсационную активность атмосферных частиц и ее связь с внешними геофизическими и синоптическими факторами.

Конденсационная активность частиц, и, следовательно, динамика изменения их оптических характеристик под действием относительной влажности зависит от их размера, структуры и от соотношения растворимых и нерастворимых веществ в составе сухой основы.

Для описания зависимости аэрозольных характеристик (в частности, коэффициента рассеяния) от относительной влажности воздуха используются величины – параметр конденсационной активности, входящий в известную формулу Хенела, и так называемый фактор роста, представляющий собой отношение коэффициента рассеяния при определенной влажности к коэффициенту рассеяния сухого аэрозоля (при нулевой влажности).

Чтобы корректно выявить влияние именно относительной влажности воздуха на фоне общей изменчивости оптического состояния атмосферы, нами реализуется подход раздельного изучения характеристик сухой основы аэрозольных частиц и их динамики под действием влажности. Для этой цели на базе нефелометра создана экспериментальная установка, оснащенная устройством искусственного увлажнения исследуемого аэрозоля в диапазоне относительной влажности 20–95%. Регулярные ежедневные измерения коэффициента аэрозольного рассеяния как функции относительной влажности проводятся в ИОА СО РАН в приземном слое атмосферы с марта 1998 г.

Максимальные значения параметра конденсационной активности наблюдаются в весенний период (начало или середина апреля), минимальные – летом. Еще один максимум наблюдается в октябре, но значения параметра конденсационной активности в это время значительно меньше тех, что реализуются весной. Падение параметра конденсационной активности продолжается с апреля по июль, затем с августа до середины октября наблюдается его рост, а с середины декабря по март регистрируется в среднем постоянное значение. Проведенные весной 2001 г. параллельные измерения в г. Томске и фоновом районе примерно в 60 км от города показали, что весенний максимум параметра конденсационной активности наблюдается в обоих пунктах и, следовательно, не связан с какими-либо локальными источниками аэрозоля, а определяется, по крайней мере, региональными процессами.

Также было проанализировано влияние синоптических процессов (в первую очередь, смены воздушных масс в пункте измерений) на конденсационную активность аэрозольных частиц внутри каждого сезона.

Анализ четырехлетнего ряда наблюдений показал, что наблюдается хорошая воспроизводимость основных закономерностей годового хода параметра конденсационной активности для разных лет. Это обстоятельство позволяет использовать их для создания прогностических моделей.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 98–05–65206 и № 00–05–65204) и гранта № 358 6-го конкурса-экспертизы молодых ученых РАН 1999 г.

Особенности дневной изменчивости эффективной высоты аэрозольной атмосферы в области длин волн 0,44–1,06 мкм

Ужегов В.Н., Пхалагов Ю.А. (pkhalagov@iao.ru), Сакерин С.М., Кабанов Д.М.

Институт Оптики Атмосферы СО РАН, Академический пр. 1, 634055 Томск, Россия

В работе рассматриваются результаты синхронных измерений коэффициентов аэрозольного ослабления (КАО) в приземном слое воздуха и аэрозольной оптической толщи (АОТ) в диапазоне длин волн 0,44–1,06 мкм. Измерения проводились в летние сезоны 1995–2000 гг. Статистический анализ вариаций величин КАО и АОТ показал [1], что значимая корреляция между ними (коэффициент корреляции $\sim 0,4$) наблюдается лишь в области 0,44–0,56 мкм. Для выявления основных причин разрушения корреляционной связи между аэрозольным ослаблением излучения в приземном слое воздуха и по всей толще атмосферы, был проанализирован дневной ход статистических характеристик величин КАО, АОТ, эффективной высоты однородной атмосферы ($H_0 = \text{АОТ} / \text{КАО}$) и метеопараметров атмосферы. Кроме того, была рассмотрена дневная изменчивость субмикронной и грубодисперсной компонент величин КАО и АОТ.

Выявлено, что усредненное значение H_0 в видимой области спектра изменяется в пределах 0,6–0,85 км, а в ближней ИК области от 0,35 до 0,5 км. Приведена дневная изменчивость величин КАО и АОТ для субмикронной и грубодисперсной компонент. Показано, что в 8 до 11 часов утра наблюдается заметное уменьшение субмикронной АОТ в коротковолновой области спектра, связанное, видимо, с обсыханием мелких частиц при уменьшении влажности воздуха. При этом величина субмикронной КАО остается практически неизменной. Последнее возможно связано с тем, что утром включается механизм фотохимического образования аэрозоля, который более эффективно идет в приземном слое атмосферы и компенсирует процесс обсыхания частиц. В 13–14 часов КАО и АОТ имеют хорошо выраженный минимум. Выявлена важная роль механизма выноса грубодисперсного аэрозоля из приземного слоя в верхние слои атмосферы. Обнаружено, в частности, что в период с 11 до 15 часов происходит рост АОТ на фоне уменьшения КАО во всем диапазоне длин волн. Следствием процесса выноса грубодисперсных частиц с земной поверхности является наличие значимой межсуточной корреляции величины КАО в области 1,06 мкм с температурой воздуха. В утренние часы коэффициенты корреляции здесь составляют $\sim 0,4$, а в послеполуденные часы корреляция возрастает до 0,8. Приведен дневной ход КАО и АОТ в области 1,06 мкм. Значение КАО изменяется от 0,04 до 0,06 км⁻¹ с 8 до 10 часов, а затем стабилизируется с небольшой тенденцией снижения величины до 0,05 км⁻¹ к 20 часам. Величина АОТ в области 1,06 мкм имеет выраженный максимум в районе 14 часов. Высота однородной атмосферы, обусловленная в основном грубодисперсным аэрозолем, имеет один выраженный максимум около 15 часов и составляет $\sim 0,5$ км. Процесс выноса аэрозоля из приземного слоя атмосферы характерен не только для грубодисперсных частиц но и для субмикронных. Высота однородной атмосферы для этой фракции имеет максимум также в районе 14–15 часов и составляет 1,4 км.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 01–05–65197).

1. Сакерин С.М., Д.М. Кабанов, Ю.А. Пхалагов, В.Н. Ужегов. Исследование одновременных вариаций аэрозольного ослабления света на горизонтальных и наклонных трассах. *Опт. атм. и океана*, 2002, **15**, 4. .

Моделирование спектрального хода аэрозольного ослабления в области спектра 0,4-12 мкм на горизонтальных и наклонных трассах

Щелканов Н.Н. (snn@iao.ru)

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

Предложена единая двухпараметрическая модель для расчета спектрального хода аэрозольной оптической толщи атмосферы на горизонтальных и наклонных трассах. Модель предназначена для расчета аэрозольных оптических толщ атмосферы в области спектра 0,4–12 мкм на трассе в зенит или на горизонтальной трассе длиной 1 км. Входными параметрами модели являются значения аэрозольных оптических толщ атмосферы на двух длинах волн в коротковолновой области спектра. Приведены значения параметров подгонки модели для входных аэрозольных оптических толщ на длинах волн 0,48 и 0,69 мкм.

Модель представлена в виде суммы двух членов. Первый член описывает спектральный ход коэффициента ослабления субмикронной фракции аэрозольных частиц по формуле Ангстрема. Второй член описывает спектральный ход коэффициента ослабления грубодисперсной фракции аэрозольных частиц.

Приведено сравнение двухпараметрической модели с экспериментальными данными, полученными на горизонтальных трассах для Центральной России [1], Северо-западной России [2], Западной Сибири [3], аридной зоны Казахстана [4], а также на наклонных трассах над разными районами Атлантики [5] (“Море мрака”, Канарские острова, Открытый океан, Пассатная зона, Экваториальная зона).

Двухпараметрическая модель удовлетворительно описывает экспериментальные данные для горизонтальных и наклонных трасс. Для горизонтальных трасс разность между экспериментальными данными и расчетами коэффициентов аэрозольного ослабления по двухпараметрической модели в области спектра 0,4–12 мкм не превышает $0,03 \text{ км}^{-1}$. Для наклонных трасс разность между экспериментальными данными и расчетами аэрозольной оптической толщи атмосферы по двухпараметрической модели в области спектра 0,37–4 мкм не превышает 0,03. Для плотных дымок модель дает несколько завышенные, а для слабых дымок – заниженные значения аэрозольных оптических толщ в ИК области спектра. Причем такая тенденция наблюдается как для горизонтальных, так и для наклонных трасс. Это говорит о том, что отсутствует различие между моделированием спектрального хода аэрозольного ослабления на горизонтальных и наклонных трассах.

1. Филиппов В.Л., Макаров А.С., Иванов В.П. Статистические характеристики ослабления видимой и ИК радиации в приземном слое атмосферы. *Изв. АН СССР, сер. ФАО*, 1979, **15**, 3, 257-265.
2. Парамонова Н.Н., Броунштейн А.М., Казакова К.В., Немец О.А. О проявлении поглощения аэрозолями в области 8-12 мкм. *Тр. ГГО*, 1985, вып. 496, 94-99.
3. Пхалагов Ю.А., Ужегов В.Н., Щелканов Н.Н. Аэрозольное ослабление оптического излучения в летних дымках Западной Сибири. *Оптика атм. и океана*, 1996, **9**, 6, 720-726.
4. Пхалагов Ю.А., Ужегов В.Н., Щелканов Н.Н. Аэрозольное ослабление оптического излучения в атмосфере аридной зоны. *Оптика атм. и океана*, 1994, **7**, 10, 1318-1329.
5. Кабанов Д.М., Сакерин С.М. Прозрачность атмосферы над Атлантическим океаном. Часть 1. Пространственные неоднородности прозрачности. *Оптика атм. и океана*, 2000, **13**, 8, 709-715.

Информационно-вычислительная система «Атмосферный аэрозоль» доступная в Интернете

Фазлиев А.З. (faz@iao.ru)

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

Шуляков Е.В. (sev@iao.ru)

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Россия

В работе представлено описание ИВС «Атмосферный аэрозоль» (<http://aerosol.iao.ru>), являющейся частью веб-портала по атмосферным наукам. Основной компонентой данной системы являются базы данных по рутинным измерениям параметров атмосферы, проводимые в ИОА СО РАН, и данных самолетных и экспедиционных измерений за период с 1981 года по настоящее время, а также данные о зависимости комплексного показателя преломления от длины волны излучения [1]. В частности, сделаны доступными в сети Интернет (<http://aerosol1.iao.ru>, <http://meteo.iao.ru>) данные почасовых измерений более чем 20 параметров (метеопараметры, концентрации атмосферных газов и массовое содержание сажи в приземном слое, концентрация аэрозольных частиц, счетная концентрация частиц в диапазоне от 0,1–1 мкм и т.д.).

Второй важной компонентой системы является набор моделей, позволяющий интерактивно моделировать процессы рассеяния излучения на сферической частице в зависимости от угла падения и длины волны излучения, а также проводить вычисления оптических характеристик аэрозоля в приземном слое [2, 3].

Третьей частью ИВС является собственно информационная начинка, включающая в себя трехтомную монографию по атмосферному аэрозолю, каталог ссылок на сетевые информационные ресурсы по атмосферному аэрозолю и руководство пользователя.

Сервисные средства системы позволяют пользователю хранить данные проведенного моделирования в виде набора задач и сравнивать результаты вычислений. Обсуждается дальнейшее развитие ИВС, состоящее в дополнении системы возможностью моделирования процессов нуклеации аэрозоля, рассмотрение динамики популяции аэрозоля с учетом коагуляции и конденсации, представление в Интернете модели Крекова–Рахимова оптических характеристик атмосферы и т.д.

Авторы благодарят РФФИ (99–07–90104) и ИНТАС (00–189) за финансирование работы, а также Л.С. Ивлева и А.В. Васильева за предоставленное программное обеспечение.

1. Rothman L.S., Rinsland C.P., Goldman A., et al. "The HITRAN molecular spectroscopic database and HAWKS (HITRAN Atmospheric workstation): 1996 Edition", *JQRST*, 1998, **60**, 665-710.
2. Андреев С.Д., Л.С. Ивлев. Моделирование оптических характеристик аэрозолей приземного слоя атмосферы в области спектра 0,3–15 мкм. *Оптика атмосферы и океана*, **8**, 1995. Часть 1. Принципы построения модели, 5, 788-795. Часть 2. Модель состава и структуры аэрозолей, 8, 1227-1235. Часть 3. Результаты моделирования, 8, 1236-1243.
3. Васильев А.В. Универсальный алгоритм расчета оптических характеристик однородных сферических аэрозольных частиц. *Вестник С.-Петербург. университета*, Сер. 4: Физика, химия. I. Одиночные частицы. 1996, Вып.4, N 25, 3-11. II. Ансамбли частиц. 1997, Вып.1, N 4, 14-24.

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), д.ф.-м.н. В.Н. Арефьев (ИФА РАН, Москва), к.ф.-м.н. В.М. Осипов (ГОИ, Санкт-Петербург)

Информационно–вычислительная система “Спектроскопия атмосферных газов”

Бабинов Ю.Л. (y1b@iao.ru), Головки В.Ф. (gvf@lts.iao.ru), Михайленко С.Н. (semen@lts.iao.ru)
*Лаборатория теоретической спектроскопии, Институт оптики атмосферы СО РАН, Академический 1,
634055 Томск, Россия*

Информационно–вычислительная система “Спектроскопия атмосферных газов” предназначена для предоставления доступа через Интернет к информации о параметрах спектральных линий (ПСЛ), сечениях поглощения атмосферных газов и решения ряда задач молекулярной спектроскопии.

Основу базы ПСЛ составляют банки данных спектроскопической информации HiTran-2000 (включая данные 2001 г. для H_2O , CH_4 , O_2 , NO , NO_2 и C_2H_2) и GEISA-97. Молекула CO_2 представлена, кроме того, оригинальными расчетными данными [1].

В число решаемых системой задач относятся задачи выборки и визуализация 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. Пользователю предоставляется возможность как использовать набор стандартных газовых смесей, представленных в системе, так и приготавливать собственные смеси газов или изотопов. При конволюции спектра высокого разрешения в спектр низкого разрешения, у пользователя есть возможность задавать аппаратную функцию в табличном виде, если таковой не оказалось в списке функций системы.

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. Система позволяет хранить результаты вычислений на сервере в пределах выделенной квоты дискового пространства (в настоящее время – 100 Мб). Предполагается дальнейшее развитие системы как в плане наполнения базы ПСЛ оригинальными расчетными данными (H_2O , N_2O , O_3 , H_2S , CH_3D , CH_3Cl , C_2H_2), так и расширения круга решаемых системой задач.

Развитие системы финансируется Российским Фондом Фундаментальных Исследований, грант № 02–07–90139.

1. Ташкун С.А., В.И. Перевалов, J.L. Teffo, А.Д. Быков, Н.Н. Лаврентьева, High precision databank of line parameters of the CO_2 molecule: version for atmospheric applications, MODAS-2001, Irkutsk, June 25-29, 2001, Poster P.5.10

S&MPO – информационная система по спектроскопии озона

Бабилов Ю.Л. (ylb@iao.ru), Михайленко С.Н. (semen@lts.iao.ru)

Лаборатория теоретической спектроскопии, Институт оптики атмосферы СО РАН, Академический 1, 634055 Томск, Россия

Alain Barbe (alain.barbe@univ-reims.fr), Тютеев Вл.Г. (vladimir.tyuterev@univ-reims.fr)

Groupe de Spectrométrie Moléculaire et Atmosphérique, Equipe associée au CNRS D 6089, UFR Sciences, BP 1039, 51687, Reims Cedex 2, France

Создана Интернет-доступная информационная система "Спектроскопия и молекулярные свойства озона" (S&MPO), содержащая расчетные и экспериментальные спектры озона вплоть до 5800 см^{-1} .

В докладе описаны структура и функциональные возможности системы. Основное внимание уделено банку данных по параметрам спектральных линий различных изотопных модификаций молекулы озона, являющемуся результатом оригинальных исследований авторов по ИК спектроскопии озона.

В отличие от наиболее распространенных на сегодняшний день банков спектроскопической информации HITRAN и GEISA, система S&MPO содержит информацию о спектрах поглощения озона выше 4060 см^{-1} , позволяет проводить в интерактивном режиме моделирование спектров поглощения озона и сравнение расчетных спектров с экспериментальными. Кроме того, система S&MPO содержит фундаментальную информацию о волновых функциях, потенциальной поверхности и поверхности дипольного момента. Имеется возможность использовать данные как из HITRAN и GEISA, так и оригинальную информацию, полученную на основе расчетов исполнителей данного проекта.

В настоящее время система существует в виде двух зеркальных сайтов: в ИОА СО РАН (<http://ozone.iao.ru>) и в Реймском университете (<http://ozone.univ-reims.fr>).

Проведение оригинальных расчетов и разработка системы частично финансировались РФФИ (Россия) и CNRS (Франция) (РФФИ-CNRS PICS грант № 01–05–22002).

База данных атмосферных фотохимических реакций

Лаврентьев Н.А.

Томский государственный университет, пр. Ленина 36, 634050 Томск, Россия

Фазлиев А.З. (faz@iao.ru)

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

Представляемая в докладе база данных является основным компонентом информационно-вычислительной системы по атмосферной химии. База данных включает в себя наряду с фотохимическими реакциями также бимолекулярные и термомолекулярные реакции [1-2]. Почти все реакции сопровождаются комментарием и библиографией.

Фундаментом базы данных являются таблица, в которой описаны свойства атомов (таблица Менделеева) и таблицы для изотопов и ионов атомов, которые также могут служить составными частями молекул. Пользователь может использовать реакции из общей базы данных, а также создавать образы молекул на основе информации из этих таблиц, заносить в базу данных химические реакции, требуемые ему для расчета динамики концентраций химических веществ в атмосфере.

Структура базы данных такова, что каждая молекула описывается определенным набором свойств. Одним из таких свойств молекулы является реакция фотораспада. Фотохимическая реакция, в частности, характеризуется сечением поглощения молекулы и квантовым выходом. Для нахождения скорости фотохимической реакции необходимо задание интенсивности излучения и его спектрального состава. С парами молекул связаны бимолекулярные реакции и т.д.

В ИВС “Атмосферная химия” на основе этой базы данных вычисляются коэффициенты скорости фотохимической реакции на заданной высоте в атмосфере. В расчете используются статистическая модель атмосферы [3] и метод Чоу [4].

В работе обсуждается дальнейшее развитие базы данных по атмосферным химическим реакциям, в частности, ее дополнения гетерофазными реакциями, вычисления коэффициентов скорости фотохимической реакции для заданного пользователем источника излучения и т.д.

Авторы благодарят РФФИ (99–07–90104) и ИНТАС (00–189) за финансирование работы.

1. Atkinson R., D. L. Baulch, R. A. Cox, R. F. Hampson, Jr., J. A. Kerr, M. J. Rossi, and J. Troe. 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 28, 1999, 191.
2. DeMore W.B., S. P. Sander, D. M. Golden, R. F. Hampson, M. J. Kurylo, C. J. Howard, A.R. Ravishankara, C. E. Kolb, and M. J. Molina, Chemical Kinetics and Photochemical Data for Use in Stratospheric Modeling, NASA Panel for Data Evaluation, Evaluation Number 12, JPL Publication 97-4, 1997.
3. Anderson G., Clough S., Kneizys F., Chetwynd J., and Shettle E. AFGL Atmospheric Constituent Profiles (0-120 km). Air Force Geophysics Laboratory, AFGL-TR-86-0110, Environment Research Paper no. 954.
4. Chou M.-D., Lee K.T. Parametrizations for the absorption of solar radiation by water vapor and ozone. *J. Atmos. Sci.*, 53, 8, 1996, 1203-1208.

База данных физико–химических и спектроскопических параметров для моделирования процессов в высокотемпературных газовых средах

Наумова Н.Н. (NNaumova@narod.ru), Абатуров А.С., Гаврилин Е.А., Киселев М.Б.,
Петров С.Б., Смирнов А.П.

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

База данных (БД) представляет собой программно-информационную систему, состоящую из совокупности алгоритмов, описывающих оптические и фотохимические свойства нейтральных и ионизированных атомов и молекул, банков исходных данных, библиотек программ, архивов и списка литературы. В ней содержатся данные, позволяющие рассчитывать параметры гипертонкой структуры в электронно–колебательно–вращательных спектрах любых двухатомных молекул, коэффициенты и сечения поглощения и излучательные способности различных нагретых газообразных сред, а также сечения фотодиссоциации и фотоионизации и константы скоростей химических процессов. Вычисления могут производиться как для локального термодинамического равновесия, так и для неравновесных условий, когда состояние среды может определяться различной электронной, колебательной и вращательной температурами.

В химических реакциях учитывается пятьдесят пять атомарных и молекулярных ионизированных и нейтральных компонент, в том числе двадцать две участвующие и в радиационных процессах. Для описания фотохимических высокотемпературных процессов представлено порядка трёхсот газофазных реакций. Данные приводятся только для основных природных изотопов химических элементов, учтённых атомарных и молекулярных веществ, так как вклад остальных изотопов в радиационные газодинамические процессы мал.

БД позволяет проводить физико-математическое моделирование и расчёты оптических характеристик газов в диапазонах: температур 200–10000 К; давлений 10^{-5} –10,0 атм.; длин волн 0,1–25,0 мкм и произвольных спектральных интервалах усреднения.

Выходные параметры программной системы

Параметры спектральных атомарных и вращательных молекулярных линий:

- λ – длина волны центра линии, мкм;
- ν – волновое число центра линии, см^{-1} ;
- $S_{nm}(T)$ – интенсивность линии, $\text{см}^{-2} \cdot \text{атм}^{-1}$;
- $\gamma_s(T)$ – полуширина линии для самоуширения, $\text{см}^{-1} \cdot \text{атм}^{-1}$;
- E'' – энергия нижнего уровня линии, см^{-1} ,

- $k_\lambda(\Delta\lambda, T)$ и $k_\nu(\Delta\nu, T)$ —коэффициенты поглощения при заданном спектральном интервале усреднения и температуре T ;
- $\sigma_\lambda(\Delta\lambda, T)$ и $\sigma_\nu(\Delta\nu, T)$ —сечения поглощения;
- $\varepsilon_\lambda(\Delta\lambda, L, T)$ и $\varepsilon_\nu(\Delta\nu, L, T)$ —излучательные способности компонент среды для заданного размера высокотемпературной области L :

В БД могут вноситься изменения и дополнения как набора компонент, участвующих в фотохимических и радиационных процессах, так и учитываемых химических реакций.

База данных предназначена для расчётов при физико-математическом моделировании высокотемпературных процессов, исследованиях оптического излучения газофазных сред, обработки результатов измерений спектров нагретых газов, определении концентраций компонент в продуктах сгорания и других работах.

Механизмы поглощения ИК радиации в крыльях полос CO_2 и H_2O

Тонков М.В. (tonkov@phys.spbu.ru), Филиппов Н.Н.

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

В научной литературе до сих пор нет однозначного мнения о механизмах поглощения ИК радиации в окнах прозрачности атмосферы. Наиболее распространенными являются гипотезы, связывающие это поглощение с крыльями мономерных молекул или с проявлением полос молекулярных комплексов. В настоящей работе рассчитываются вклады, связанные с поглощением крыльев мономерных молекул.

Для расчета используется общая теория контура спектральных линий, учитывающая интерференцию линий и конечную длительность столкновений [1]. Проверка введенных в расчет приближений сделана на примере хорошо изученных спектров молекулы CO_2 в различных возмущающих газах в области крыла полосы ν_3 . Расчет проведен в предположении доминирующей роли потенциала отталкивания в формировании молекулярных траекторий, возмущающий потенциал определен по литературным данным об анизотропных потенциалах CO_2 —благородный газ.

Результаты расчета хорошо согласуются с экспериментальными данными, полученными в нашей лаборатории, и позволяют сделать вывод о доминирующей роли интерференции линий в формировании отклонений формы крыльев колебательно-вращательных полос от величин, рассчитанных как сумма лоренцевских линий. В то же время влияние эффекта конечной длительности столкновений оказывается не слишком большим.

Основываясь на этом факте, мы провели оценки прозрачности атмосферы в области окна 8–12 мкм, используя расчеты формы крыльев вращательной и колебательно-вращательной полос H_2O в атмосфере в ударном приближении. Расчеты проведены в рамках модели сильных столкновений, которая дает верхнюю границу для коэффициентов поглощения. Сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными [2] показывают, что вклад столкновений H_2O – N_2 может быть приписан мономерным молекулам. Для интерпретации квадратичного по давлению паров воды вклада необходимо привлекать другие механизмы формирования поглощения.

1. Filippov N.N., Tonkov M.V. Kinetic theory of band shapes in molecular spectra of gases: Application to band wings. *Journal of Chemical Physics*, **108**, 9, 1998, 3608-3619.
2. Арефьев В.Н. Докторская диссертация, 1992.

Моделирование континуального поглощения парами воды в широких спектральных интервалах

Головко В.Ф. (gvf@lts.iao.ru)

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

Расчет континуального поглощения водяного пара является существенным при получении функции пропускания в атмосфере. В докладе приводятся результаты расчета континуума как чистого водяного пара, так и с учетом уширения азотом в широких спектральных интервалах (от микроволнового до ультрафиолетового), которые покрываются современными спектроскопическими базами данных. Рассматривается поглощение как в окнах прозрачности, так и в колебательных полосах мономеров. В полосах континуум моделируется с четко выраженным селективным характером, обнаруженным в экспериментальных работах Берча, Тобина и др. Расчеты основаны на выражении для восприимчивости, полученной из частично измененной дисперсионной формулы Лорентц-Лоренца [1,2]. Обсуждаются роль различных вкладов в общее поглощение, величина спектрального разрешения селективного континуума, характерная спектральная зависимость поглощения, кооперативный характер поглощения, который аналогичен явлению, имеющему место при когерентном рассеянии вперед, например, аэрозольными частицами, возможный нелинейный по интенсивности характер поглощения в далеких крыльях в микроволновой области. На основе учета упомянутых вкладов в уравнение поглощения радиации представлено нетривиальное объяснение такому эффекту, как уменьшение поглощения при добавлении небольшого количества азота к чистому водяному пару, которое обычно относят к явлению адсорбции молекул воды на стенках ячейки при постепенном добавлении азота. В зависимости от направления прохождения радиации рассматривается возможность различных значений функции пропускания в неоднородной по ходу луча оптической атмосфере [3]. Обсуждается роль континуального поглощения, а также других возможных вкладов в связи с так называемой проблемой избыточного поглощения в атмосфере. В методическом плане, представленные исследования скорее направлены на изучение проявления свойств непосредственного взаимодействия излучения с молекулой, чем на роль межмолекулярного взаимодействия в такого рода процессах [4].

1. Golovko V.F. Dispersion formula and continuous absorption of water vapor, *JQSRT*, **65**, 2000, 621-644.
2. Golovko V.F. Hypothetical dispersion quantum effects for coherent forward propagating radiation in transparent and semitransparent medium, *JQSRT*, **65**, 2000, 821-834.
3. Golovko V.F. Continuous absorption of water vapor and a problem of the absorption enhancement in the humid atmosphere, *JQSRT*, **69**, 2001, 431-446.
4. Головко В.Ф. Расчет спектров поглощения двуокиси углерода в широких спектральных интервалах, *Оптика атмосферы и океана*, **14**, 2001, 879-885.

Контур спектральных линий CO₂ от центра до далекого крыла и его применение в расчетах радиационных характеристик

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

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

Теория крыльев спектральных линий уже более 25 лет используется авторами для интерпретации экспериментальных данных по поглощению в крыльях линий и полос. Теория крыльев линий [1,2] использует при решении задачи о взаимодействии света с веществом метод кинетических уравнений, переход к классическому движению центров масс, асимптотический случай больших смещенных частот и параметризацию квантовой задачи взаимодействия двух – поглощающей свет и уширяющей – молекул. Параметры в выражении для контура связаны лишь с потенциалом межмолекулярного взаимодействия и находятся при минимизации отклонений рассчитанных значений коэффициента поглощения от экспериментальных. Качество минимизации улучшалось по мере появления новых

экспериментальных данных. В настоящее время имеющиеся наборы параметров обеспечивают описание экспериментальных данных по коэффициенту поглощения в крыльях полос 1,4; 2,7; 4,3 и 15 мкм CO_2 в зависимости от частоты, температуры, давления и типа уширяющего газа с точностью эксперимента.

Наиболее подробно изучено поглощение в крыле полосы 4,3 мкм CO_2 , где упомянутые зависимости известны из экспериментов Берча, Буле, Хартмана, Буланина, Тонкова. Как оказалось, параметры квантового потенциала, входящие в выражение для контура, являются общими для полос 1,4; 2,7 и 4,3 мкм. Определение части контура, промежуточной между центром и крылом с помощью сплайна, позволило также описать поведение коэффициента поглощения в микроокнах полосы 4,3 мкм CO_2 и поведение поглощения в пределах полосы при высоких давлениях.

Выражение для контура линии в асимптотическом случае больших смещенных частот представляет собой аналитическое выражение, немногим более сложное, чем Лорентцевский контур для малых смещенных частот. Это позволяет использовать его в расчетах радиационных потоков. Область крыла полосы 15 мкм имеет большое значение для условий атмосферы Земли и Марса, область полосы 4,3 мкм важна для расчета радиационного режима Венеры. Приведены примеры отличия радиационных потоков в расчетах с разными контурами.

Работа поддержана Российским Фондом Фундаментальных Исследований, грант № 00–05–65209

1. Несмелова Л.И., Родимова О.Б., Творогов С.Д. *Контур спектральной линии и межмолекулярное взаимодействие*. Новосибирск: Наука, 1986, 216 с.
2. Tvorogov S.D., O.B. Rodimova. Spectral line shape. I. Kinetic equation for arbitrary frequency detunings, *J. Chem. Phys.*, **102**, 22, 1995, 8736–8745.

Применение рядов экспонент при решении уравнения переноса коротковолнового излучения в неоднородной атмосфере Земли

Фирсов К.М. (fkm@ioa.ru), Чеснокова Т.Ю., Белов В.В., Серебрянников А.Б.

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

В работе рассматривается метод представления функций пропускания в виде ряда экспонент с параметрами, определяемыми на основе данных о тонкой структуре спектров поглощения. Описываются численные методы, обеспечивающие простую технологию расчета параметров.

Показано, что применение рядов экспонент позволяет отказаться от использования асимптотических методов учета молекулярного поглощения при решении уравнения переноса излучения в газовой-аэрозольной атмосфере Земли. Единственным приближением является k -корреляция.

В работе проанализировано влияние неопределенностей параметров спектральных линий в базе данных HITRAN на погрешность расчета интегральных потоков излучения. Показано, что данная погрешность не превосходит величины 0,3%.

Работа частично поддержана грантами РФФИ № 02-05-64492 и №01-05-61152.

Применимость приближения sk -корреляции в расчетах атмосферных функций пропускания

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

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

Ранее авторами [1,2] была предложена версия k -распределения, опирающаяся на теорию рядов Дирихле. Ее главное отличие от имеющихся в литературе заключается в том, что она позволяет получить точные выражения для коэффициентов разложения исследуемых

функций в ряды экспонент. На основе предложенных ранее авторами точных формул для разложения в ряды экспонент, в том числе и для функций пропускания для неоднородных трасс, проведены расчеты функции пропускания для атмосферных неоднородных трасс. Из сравнения точных формул и формул в приближении sk - корреляции видно, что приближение sk - корреляции для земной атмосферы является успешным благодаря тому, что коррелирующими являются оптические толщи, в то время как различия в поведении коэффициентов поглощения для разных термодинамических условий не играют решающей роли. Отмечены ситуации, когда приближение sk - корреляции может нарушаться. Показано, что при условиях, реализующихся в атмосфере Земли, расчет по точным формулам разложения в ряды экспонент практически совпадает с расчетом в приближении sk - корреляции, что можно считать обоснованием приближения sk - корреляции.

Итогом наших расчетов является убеждение, что приближение, именуемое в литературе приближением sk - корреляции, справедливо для большинства атмосферных ситуаций, хотя, по-видимому, не имеет отношения к действительной корреляции спектров. Так как расчет коэффициентов разложения функции пропускания в ряд экспонент по точной формуле не требует большего объема вычислений, чем расчет в приближении sk - корреляции, предпочтительнее пользоваться точными формулами.

Работа поддержана Российским Фондом Фундаментальных Исследований, грант № 00-05-65209.

1. Творогов С.Д. Некоторые аспекты задачи о представлении функции поглощения рядом экспонент, *Оптика атмосферы и океана*, 7, 3, 1994, 315–326.
2. Tvorogov S.D., L.I. Nesmelova, O.B. Rodimova. k-distribution of transmission function and theory of Dirichlet series, *JQSRT*, 66, 2000, 243–262.

Анализ температурной зависимости мультифрактальных спектров колебательно-вращательных полос поглощения атмосферных газов

Кистенев Ю.В. (yuk@asd.iao.ru), Пономарев Ю.Н. (yupon@asd.iao.ru), Фирсов К.М. (fkf@iao.ru)

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

Известно, что в ряде случаев оптические спектры колебательно-вращательных полос поглощения молекулярных газов обладают свойством самоподобия: совокупность линий поглощения или частотное распределение интенсивностей этих линий представляют собой мультифрактал. Свойство самоподобия может быть выражено в виде соответствующих мультифрактальных спектров, которые по сути являются характеристикой всего совокупного спектра поглощения полосы. Таким образом, мультифрактальный спектр является дополнительной интегральной характеристикой исходного оптического спектра.

В докладе анализируется поведение мультифрактального спектра основных газовых компонент атмосферы при изменении ее температуры. Обсуждается связь фрактальных характеристик спектра и параметров разложения функции пропускания в ряд экспонент.

Работа частично поддержана грантом РФФИ № 01-05-61152.

Новая самосогласованная модель дневных эмиссий $O_2(a^1\Delta_g, v \geq 0)$ и $O_2(b^1\Sigma_g^+, v=0, 1, 2)$ в средней атмосфере. Восстановление вертикального профиля озона из измеренных профилей интенсивности этих эмиссий

Янковский В.А. (valentine.yankovsky@paloma.spbu.ru), Мануйлова Р.О.

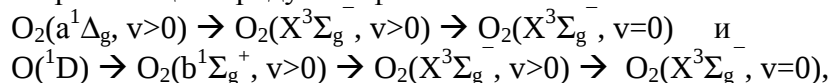
НИИ физики им. В.А. Фока Санкт-Петербургского государственного университета, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург-Петродворец, Россия

Кинетика возбужденных продуктов фотолиза озона, исходя из современных лабораторных и теоретических данных, должна быть дополнена процессами передачи

энергии между электронно-колебательно возбуждёнными метастабильными молекулами синглетного кислорода, возбуждёнными атомами кислорода $O(^1D)$, и колебательно-возбуждёнными молекулами кислорода в основном электронном состоянии.

Это актуально, в частности, в связи с необходимостью интерпретации измерений интенсивности кислородных эмиссий на длинах волн 1,27 и 0,762 мкм в средней атмосфере, в том числе для задачи восстановления вертикального профиля озона.

Погрешности определения концентрации озона из эмиссий электронно-возбуждённых продуктов фотолиза озона возникают из-за отсутствия учёта колебательной кинетики в фотохимической модели и значительных вариаций в значениях констант скорости ряда фотохимических реакций. В кинетической схеме впервые учтены все промежуточные продукты процесса релаксации продуктов фотолиза по каналам:



то есть от первоначально образовавшихся продуктов до конечных невозбуждённых продуктов.

На основе самосогласованной модели кинетики всех вышеперечисленных атомов и молекул были рассчитаны вертикальные профили дневных эмиссий электронно-колебательно возбуждённых состояний $O_2(b^1\Sigma_g^+, v=0, 1, 2)$ и $O_2(a^1\Delta_g, v=0)$ в полосах 0,762; 0,689; 0,629 и 1,27 мкм, соответственно. Это позволило восстановить профиль концентрации O_3 из измерений интенсивностью эмиссий 1,27 и 0,762 мкм, причём результаты восстановления концентрации O_3 из интенсивностей обеих эмиссий совпали в пределах погрешности измерений.

Новая оценка скорости охлаждения нижней термосферы излучением в 15 мкм полосе CO_2

Швед Г.М. (shved@lmupa.phys.spbu.ru), Хворостовская Л.Э., Потехин И.Ю., Огибалов В.П., Узюкова Т.В.

НИИ Физики Санкт-Петербургского государственного университета, Ульяновская ул. 1, 198504 Санкт-Петербург, Петродворец, Россия

Лучистое выхолаживание в 15 мкм полосе CO_2 является основным механизмом охлаждения земной атмосферы на высотах 15–120 км. Точные значения скорости этого выхолаживания необходимы для объяснения наблюдаемой температурной и ветровой структуры средней атмосферы, поскольку энергетический бюджет атмосферы определяет систему её циркуляции. Механизм охлаждения атмосферы за счёт её теплового инфракрасного излучения является двухэтапным: сначала благодаря тепловым столкновениям молекул их кинетическая энергия переходит в энергию возбуждённых молекулярных состояний, а затем энергия теряется за счёт оптических эмиссий с этих состояний. Фотодиссоциация молекул O_2 солнечным ультрафиолетовым излучением приводит к тому, что начиная с высот верхней мезосферы сильно увеличивается отношение смеси атомного кислорода. Константы скорости колебательно-трансляционный (К–Т) переноса энергии при столкновениях молекул CO_2 с атомами O , $k(CO_2-O)$, превышают соответствующие константы скорости для столкновений с молекулами N_2 и O_2 не менее, чем на два с половиной порядка. Поэтому столкновения CO_2-O становятся выше 80 км сначала ощутимым, а потом и доминирующим способом передачи энергии теплового молекулярного движения в энергию возбуждения колебательной моды ν_2 .

Впервые представлены лабораторные измерения константы скорости тушения состояния $CO_2(01^10)$ при столкновениях молекул CO_2 с атомами O для температур, реализующихся в окрестности земной мезопаузы. Измерения проведены в газовом разряде с полым катодом в диапазоне температур 206–358 К. Значения $k(CO_2-O)$ оказались существенно ниже значений, использовавшихся ранее при решении задачи эмиссии

атмосфер Земли, Венеры и Марса в 15 мкм полосе CO_2 с учётом нарушения локального термодинамического равновесия по колебательным состояниям моды ν_2 . Измеренная зависимость $k(\text{CO}_2\text{--O})$ от температуры аппроксимирована простым выражением. Использование новых значений константы скорости сильно уменьшило величины скорости выхолаживания нижней термосферы Земли в 15 мкм полосе CO_2 по сравнению с предыдущими оценками этой скорости. Получены следующие порядки скорости среднеглобального охлаждения для фиксированных высот – 3 К/сутки на 90 км, 10 К/сутки на 100 км, 20 К/сутки на 110 км и 15 К/сутки на 120 км.

Над большей частью поверхности Земли сейчас максимальная скорость охлаждения оказывается порядка 20 К/сутки и приходится на высоты вблизи 110 км. На высоких широтах летом эта скорость увеличивается вплоть до 35 К/сутки, а высота максимума снижается до примерно 105 км. Рассчитанное среднеглобальное выхолаживание в 15 мкм полосе способно в слое 100–110 км сбалансировать среднеглобальное нагревание атмосферы за счёт поглощения солнечного ультрафиолетового излучения. Достаточно высокая точность лабораторных измерений $k(\text{CO}_2\text{--O})$ позволяет думать, что дальнейшее уточнение скорости охлаждения нижней термосферы Земли следует связывать с прогрессом в измерениях входных атмосферных параметров задачи 15 мкм эмиссии, каковыми являются температура и отношения смеси CO_2 и O.

Резонаторная спектроскопия атмосферы диапазона 45–200 ГГц

Паршин В.В. (parsh@appl.sci-nnov.ru), Крупнов А.Ф., Третьяков М.Ю., Шанин В.Н.,
Андреанов А.М., Шкаев А.П., Мясникова С.Е., Кошелев М.А., Доровских В.В.
Институт прикладной физики РАН, Ульянова 46, 603950 Нижний Новгород, Россия

Методами резонаторной спектроскопии проведены *in situ* исследования поглощения излучения в атмосфере в широком диапазоне частот – от 45 до 203 ГГц. Чувствительность и точность измерений примерно на порядок превосходит опубликованный мировой уровень. Исследования охватили полосу поглощения кислорода в районе 60 ГГц, отдельные линии кислорода 118 ГГц и водяного пара 183 ГГц, а также окна относительной прозрачности атмосферы.

Прямые измерения поглощения методом "вариации дальности" подтвердили хорошую точность расчета величины поглощения в атмосфере с помощью полуэмпирической модели Либс-Розенкранца. Измеренное абсолютное поглощение на частоте 140 ГГц = 0,4301(27) дБ/км, расчет по Розенкранцу дает величину, равную 0,443 дБ/км.

Измерение формы линий водяного пара и кислорода показали, что профиль линии прекрасно (шумовой резидиум) описывается формой Ван Флека-Вейскопфа с учетом линейного и квадратичного члена при расстройке до 20 полуширин от центра линии.

После "извлечения чистой" линии поглощения водяного пара на 183 ГГц рассчитана ее интегральная интенсивность. Расчетная величина интегральной интенсивности, полученная исходя из спектроскопических параметров линии (равная $1,513(50) \cdot 10^5 \text{ см}^{-1} \text{ ГГц}$) с точностью $\sim 2 \%$ совпала с экспериментальными результатами – $1,545(17) \cdot 10^5 \text{ см}^{-1} \text{ ГГц}$.

С рекордной точностью определены параметры уширения воздухом линии паров воды 183 ГГц. Параметр уширения линии водяного пара сухим воздухом, рассчитанный из экспериментальных данных, составляет $3,985 \pm 0,04 \text{ МГц/Торр}$.

Проведены исследования в полосе поглощения кислорода 50–70 ГГц. Выявлено заметное расхождение измеренной величины поглощения и рассчитанной по различным моделям. Наиболее адекватной оказалась модель Розенкранца. Однако, при некоторых условиях внутри шумового резидиума в $\pm 2\%$ появляется регулярное отклонение, происхождение которого пока не определено. Возможно, оно связано с локальными изменениями содержания кислорода.

Линия молекулы кислорода на частоте 118,75 ГГц является одной из двух одиночных спектральных линий с заметным поглощением, использующихся для диагностики атмосферы в миллиметровом диапазоне, в частности для измерения вертикального профиля температуры атмосферы. Точность знания параметров линии, в первую очередь коэффициентов уширения и поглощения, а также сдвиг центральной частоты давлением определяет абсолютную точность восстановления температурного профиля. Однако относительно малая величина поглощения до сих пор сдерживала прецизионные исследования параметров линии даже в лабораторных условиях.

Нами с хорошей точностью получен параметр уширения линии сухим воздухом – $2,14 \pm 0,07$ МГц/Торр.

Впервые обнаружено смещение центра линии вниз на 150 МГц при атмосферном давлении по сравнению с измерениями при малых давлениях. Рассчитанный отсюда параметр смещения равен – $0,19 \pm 0,08$ МГц/Торр.

Учет данного сдвига приводит к асимметрии теллурической линии в величине поглощения ~ 3 дБ, а в интенсивности излучения ~ 8 К.

Величина данного эффекта существенно превышает чувствительность современных средств измерения и учет его необходим в моделях атмосферы, используемых для решения прямых и обратных задач распространения ММ волн в земной атмосфере.

Заключение

Созданы аппаратура и методики измерений, позволяющие осуществлять прецизионный мониторинг атмосферы в реальном масштабе времени. Флуктуационная чувствительность аппаратуры по поглощению доведена до $\sim 0,002$ дБ/км ($4 \cdot 10^{-9}$ см⁻¹). Эта величина соответствует абсолютной чувствительности по влагосодержанию ~ 1 мг/м³ (на частоте 183 ГГц) и кислородосодержанию $\sim 0,003\%$ (на частоте 60 ГГц).

Подробнее результаты исследований линий поглощения кислорода и водяного пара изложены в соответствующих докладах настоящего Симпозиума.

Работа поддержана грантами РФФИ № 00-02-16604; МНТП "Научное приборостроение" и ФЦНТП "Квантовые и нелинейные процессы"

Столкновительное возмущение ВУФ спектров поглощения фреонов CF₃Cl и CF₂HCl в смеси с инертными газами

Бутурлимова М.В. (Marina.But@molsp.phys.spbu.ru), Бурцев А.П., Киселева М.Б.,
Зеликина Г.Я.

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

Газообразные галогенсодержащие молекулярные соединения (фреоны) играют важную роль в формировании радиационного бюджета атмосферы и участвуют в фотохимических реакциях, определяющих концентрацию такого важного с экологической точки зрения компонента, как озон. Следовательно, изучение как спектральных абсорбционных характеристик этих молекулярных газов в УФ-ИК областях спектра, так и влияния на эти характеристики межмолекулярных взаимодействий достаточно актуально. Основное внимание в данной работе было уделено спектральному интервалу 160 – 220 нм, для которого практически отсутствуют количественные данные.

Изучались спектры континуального поглощения газообразных фреонов CF₃Cl и CF₂HCl в диапазоне плотностей 0,05–3 Амага и их разбавленных смесей с благородными газами: гелием, аргоном, криптоном и ксеноном в диапазоне плотностей 10–60 Амага, при температуре 294 ± 1 К с разрешением 0,8 нм.

При добавлении ксенона к фреонам было обнаружено уверенно регистрируемое индуцированное поглощение, пропорциональное произведению плотностей компонентов, причем его спектральный ход оказался близок к спектральной зависимости сечения

поглощения самого фреона. Эффект отсутствует при добавке к фреонам аргона, криптона и гелия.

В отличие от изученных ранее [1] индуцированных эффектов в кислороде, где величина эффекта монотонно меняется с изменением потенциала ионизации в ряду инертных буферных газов, во фреонах наблюдается ярко выраженный селективный эффект. Возможно, что это связано с существенно более выраженной близостью уровней электронной энергии молекул фреонов и атома ксенона.

1. Зеликина Г.Я., Берцев В.В., Бурцев А.П. и Киселева М.Б. Оптика и спектроскопия, **81**, 5, 1996, 751- 756.

Дисперсия резонансной поляризуемости и интегральные интенсивности фундаментальных полос поглощения фреонов CF_3Cl , CF_3Br , CH_3F в области 8-10 мкм

Бурцев А.П. (burcev@molsp.phys.spbu.ru), Бочаров В.Н., Кисляков И.М., Ладвищенко Ю.М.,
Свешников Ю.М.

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

Изучение оптических характеристик галогенсодержащих молекулярных газов (в т.ч. фреонов) необходимо вследствие той важной роли, которую эти соединения играют в формировании радиационного бюджета атмосферы и в протекающих в ней фотохимических реакциях. В литературе практически отсутствуют данные о дисперсии реальной части комплексного показателя преломления фреонов в ИК области, данные об интегральных интенсивностях фундаментальных полос поглощения также весьма скудны.

Путем совместной обработки результатов полученных методами двухцветной (IR-Vis) лазерной интерферометрии и ИК абсорбционной спектроскопии были изучены реальная и мнимая часть комплексного показателя преломления и определены интегральные коэффициенты поглощения фундаментальных полос газов CF_3Cl , CF_3Br , CH_3F в области 8–10 мкм. Эксперименты проводились при $T = (293 \pm 1)$ К в диапазоне давлений 10–760 Торр. Контроль молекулярных примесей в изучаемых газах (содержание основного компонента больше 99,5%) осуществлялся методом спектроскопии криогенных растворов. При проведении абсорбционных измерений использовался спектрофотометр IFS-28 Bruker.

Обнаружен заметный рост резонансной поляризуемости $\alpha_{\text{рез}}$ при приближении к центру полосы поглощения, эффект составляет $\sim 25 \text{ \AA}^3$ в низкочастотном крыле при изменении отстройки от 50 до 15 см^{-1} . Данные, полученные при проведении интерферометрических измерений (погрешность $\sim 1\%$) хорошо согласуются с результатами обработки спектров поглощения с помощью соотношений Крамерса-Кронига. Для CF_3Cl и CF_3Br определены интегральные интенсивности фундаментальных полос поглощения с погрешностью $< 5 \%$.

Изучено столкновительное возмущение $\alpha_{\text{рез}}$ молекул CH_3F в чистом газе, как в области Р и R ветвей, так и в Q ветви полосы поглощения ν_3 . В Q ветви был обнаружен чрезвычайно сильный эффект превышающий $\sim 10^6$ раз ранее наблюдавшийся эффект влияния столкновений на поляризуемость молекул в видимой области вдали от резонансов.

Высокоточный банк параметров спектральных линий молекулы CO₂

Лаврентьева Н.Н. (lnn@asd.iao.ru), Быков А.Д.

Лаборатория молекулярной спектроскопии, ИОА СО РАН, Академический 1, 634055 Томск, Россия

Ташкун С.А., Перевалов В.И. (vip@lts.iao.ru), Бабилов Ю.Л.

Лаборатория теоретической спектроскопии, ИОА СО РАН, Академический 1, 634055, Томск Россия

Тэффо Ж.Л. (teffo@ccr.jussieu.fr)

Laboratoire de Physique Moléculaire et Applications, CNRS, Université Pierre et Marie Curie, 4 Place Jussieu, F-75252 Paris-Cedex 05

Для решения различных задач физики атмосферы, астрофизики, лазерной физики необходимо знать параметры контура спектральных линий углекислого газа, его основных изотопных модификаций в широком интервале температур для различных колебательных полос от средней ИК до видимой области спектра. Представленный банк параметров (положения, интенсивности, коэффициенты самоуширения, уширения и сдвига линий углекислого газа давлением воздуха и, а также коэффициенты температурной зависимости параметров контура) для четырёх наиболее распространенных изотопических модификаций $^{12}\text{C}^{16}\text{O}_2$, $^{13}\text{C}^{16}\text{O}_2$, $^{12}\text{C}^{16}\text{O}^{18}\text{O}$ и $^{12}\text{C}^{16}\text{O}^{17}\text{O}$ молекулы углекислого газа сгенерирован на основе использования метода эффективных операторов [1–3] (центры и интенсивности линий), а также с использованием полуэмпирического подхода для расчета полуширин и сдвигов [4]. Модификация ударного метода расчета параметров контура линии осуществлена введением дополнительных параметров, учитывающих искривление траектории, эффекты колебательного возбуждения, поправки к матрице рассеяния, полученной по теории возмущений и т.д. Параметры теории определялись из подгонки к экспериментальным значениям полуширин и сдвигов линий. Найденные таким образом параметры вполне удовлетворительно описывают не только J -зависимость полуширин линий, но и коэффициентов сдвига, что подтверждает правильность примененного подхода. При расчетах сдвига добавляется один подгоночный параметр – средняя дипольная поляризуемость в возбужденном колебательном состоянии, ответственная за вклад в величину сдвига изотропной части потенциала, которая, в свою очередь, обуславливает колебательную зависимость коэффициента сдвига, наблюдаемую в эксперименте. Приводится сравнение спектроскопической информации по молекуле CO₂, содержащейся в атмосферной версии нашего банка ($T = 296$ К, $I_{\text{cutoff}} = 10\text{--}27$ см⁻¹/(molecule·cm⁻²)) и в базе данных HITRAN-96 [5]. Показано, что в целом настоящий банк содержит наиболее полную и точную информацию по параметрам спектральных линий вышеуказанных изотопов. Будет также представлена высокотемпературная ($T = 1000$ К) версия банка. Этот банк встроен в Интернет доступную систему «Спектроскопия атмосферы» (<http://spectra.iao.ru>).

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант РФФИ № 00–07–90051).

1. Tashkun S.A., V.I. Perevalov, J.-L. Teffo, L.S. Rothman, and V.I.G. Tyuterev. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, **60**, 1998, 785–801.
2. Tashkun S.A., V.I. Perevalov, J.-L. Teffo, and V.I.G. Tyuterev. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, **62**, 1999, 571–598.
3. Tashkun S.A., V.I. Perevalov, J.-L. Teffo, M. Lecoutre, T.R. Huet, A. Campargue, D. Bailly, and M.P. Esplin. *J. Mol. Spectrosc.*, **200**, 2000, 162–176.
4. Быков А.Д., Н.Н. Лаврентьева, Л.Н. Синица. *Оптика атмосферы и океана*, **13**, 2000, 1098–1102.
5. www.hitran.com

Банк данных для расчета спектральных характеристик высокотемпературных спектров CO₂

Осипов В.М. (osipov@niiki.ru, sher@sbior.spb.su)

НИИ комплексных испытаний оптико-электронных приборов и систем, 188540 Сосновый Бор, Россия

Характеристики высокотемпературных спектров двуокиси углерода необходимы для решения фундаментальных задач спектроскопии планетных атмосфер, в первую очередь, атмосфер Венеры и Марса, а также широкого круга прикладных задач атмосферной спектроскопии. При этом для решения ряда прикладных задач необходима информация о характеристиках спектров излучения при весьма высоких температурах – вплоть до температуры диссоциации. В докладе представлен программно-информационный комплекс, разработанный для расчетов различных спектральных характеристик CO₂ (коэффициенты поглощения, излучательная способность, функции пропускания) в широком диапазоне температур.

Расчеты проводятся на основе сформированного банка данных по параметрам спектральных линий основного изотопа углекислого газа. Банк содержит параметры 49101750 линий CO₂ в диапазоне 700–10730 см⁻¹ при референтной температуре $T_0 = 4000$ К. При вычислении уровней колебательно-вращательной энергии в основном использовались выражения, представленные в работе [1]. Для некоторого упрощения расчетов энергии высоковозбужденных состояний и матричных элементов дипольного момента колебательных переходов с учетом вращательного вклада в резонанс Ферми применен подход, позволяющий разделить колебательную и вращательную часть гамильтониана молекулы [2]. Использовались упрощенные методы учета влияния кориолисова возмущения на интенсивности слабых “горячих” перпендикулярных переходов. Молекулярные постоянные, входящие в полученные выражения, были определены с помощью метода наименьших квадратов [3]. При расчетах температурной зависимости коэффициентов самоуширения линий использованы результаты работы [4].

Перечень спектроскопических параметров и формат их представления близки к перечню и формату данных в известной базе данных HITRAN. Ограничение по минимальной интенсивности линии изменялось в пределах от 10⁻²⁷ до 10⁻³⁰ см⁻¹/(molecule·cm⁻²) в зависимости от спектральной области.

Программное обеспечение позволяет проводить расчеты различных характеристик спектров излучения и пропускания в требуемых спектральных интервалах при температурах более 600–800 К. В их число входят:

- монохроматические коэффициенты поглощения с лоренцевским или фойгтовским контуром линии;
- коэффициенты поглощения и излучательные способности, осредненные с заданным шагом по частоте.

Проведено сопоставление рассчитанных спектральных характеристик с результатами опубликованных экспериментальных исследований, показавшее их хорошее согласие. Обнаружено, в частности, что при температурах 1300–1500 К согласие с последними экспериментальными измерениями [5] существенно лучше, чем расчетов, выполненных на основе базы данных HITEMP[6].

1. Chedin A.. The Carbon Dioxide Molecule. Potential, Spectroscopic, and Molecular Constants from its Infrared Spectrum. *J. Mol. Spectr.*, **76**, 1-3, 1979, 430-491.
2. Осипов В.М.. Влияние резонанса Ферми на относительные интенсивности колебательных полос углекислого газа. *Опт. и спектр.*, **46**, 1, 1979, 48.
3. Осипов В.М.. Вращательные спектроскопические постоянные молекулы CO₂. VI Всес. симп. по молек. спектр. выс. и сверхвыс. разр., Тез.докл., часть 2, 1982, Томск, 211-213.
4. Аушев А.Ф., Н.Ф. Борисова, Е.С. Букова, В.М. Осипов и др. О температурной зависимости полуширин спектральных линий CO₂ и H₂O. *Опт. и спектр.*, **68**, 5, 1979, 1197-1199.
5. Modest M.F., S.P. Bharadway. Medium resolution transmission measurements of CO₂ at high temperature. *JQSRT*, **73**, 2002, 329-338.
6. Rothman L.S., C. Camy-Peyret, J.-M. Flaud et al., HITEMP, the High-Temperature Molecular Spectroscopic Database, is being prepared for the. *JQSRT*, The HITRAN web-site, <http://CfA-www.Harvard.edu/HITRAN>.

Прецизионные исследования атмосферной линии поглощения кислорода 118 ГГц

Мясникова С.Е. (ms@sandy.ru), Паршин В.В., Крупнов А.Ф., Третьяков М.Ю., Шанин В.Н., Кошелев М.А., Доровских В.В.

Институт прикладной физики РАН, Ульянова 46, 603950 Нижний Новгород, Россия

Линия молекулы кислорода на частоте 118,75 ГГц является одной из важнейших диагностических линий при дистанционном зондировании атмосферы. Важнейшими ее особенностями являются изолированность, облегчающая моделирование, и относительная слабость, позволяющая получать данные о значительных толщах атмосферы, но затрудняющая лабораторные исследования. Эта линия широко используется для диагностики атмосферы в миллиметровом диапазоне, в частности для измерения вертикального профиля температуры атмосферы. Точность знания параметров линии, в первую очередь коэффициентов уширения и поглощения, а также сдвиг центральной частоты давлением определяет абсолютную точность восстановления температурного профиля. Однако относительно малая величина поглощения до сих пор сдерживала прецизионные исследования параметров линии даже в лабораторных условиях.

Для исследования линии кислорода был использован новый резонаторный спектрометр диапазона 45–200 ГГц с быстрым прецизионным управлением частотой, разработанный в ИПФ РАН, полное описание и принцип функционирования которого представлен в докладе "Резонаторная спектроскопия атмосферы диапазона 45–200 ГГц". Используя резонаторный спектрометр, мы смогли не только наблюдать линию в реальной атмосфере, но и определить параметры линии (форму линии, центральную частоту и параметр уширения линии сухим воздухом) с точностью, никем не достигавшейся ранее. Время записи величины поглощения существенно меньше характерного времени изменения метеопараметров в лабораторных условиях. Поэтому появилась возможность исследования атмосферного поглощения при практически неизменных метеоусловиях. Было выявлено, что для описания линии кислорода в реальной атмосфере лучше всего подходит модель Ван Флека – Вайскопфа. Используя эту модель, был определен параметр уширения линии сухим воздухом как $2,14 \pm 0,07$ МГц/Торр [1].

Впервые была обнаружена качественно новая характеристика данной линии, а именно сдвиг центральной частоты линии давлением газа и определен параметр сдвига как -0.19 ± 0.08 МГц/Торр [1]. При атмосферном давлении этот сдвиг составляет 150 МГц. Переобработка экспериментальных результатов других авторов, исследовавших эту линию в чистом кислороде, показала также наличие отрицательного сдвига частоты того же порядка.

Проведенная оценка влияния сдвига линии на наблюдающуюся теллурическую линию кислорода показала, что параметры наблюдающейся теллурической линии меняются на величину до 8 К при радиометрическом наблюдении линии или приводят к изменениям до 3 дБ при измерении поглощения в теллурической линии, что значительно превосходит ошибку эксперимента. Таким образом, учет не учитывавшегося ранее сдвига линии 118 ГГц давлением необходим для правильного описания поглощения в атмосфере вблизи этой линии и правильной интерпретации результатов дистанционного зондирования атмосферы. Сдвиг линии как новый источник информации может быть использован для улучшения существующих методов восстановления параметров атмосферы из наблюдаемых данных.

Работа поддержана грантами РФФИ № 00-02-16604; МНТП "Научное приборостроение" и ФЦНТП "Квантовые и нелинейные процессы"

1. Tret'yakov M.Yu., V.V. Parshin, V.N. Shanin, S.E. Myasnikova, M.A. Koshelev and A.F. Krupnov. Real Atmosphere Laboratory Measurement of the 118-GHz Oxygen Line: Shape, Shift, and Broadening of the Line, *Journal of Molecular Spectroscopy*, **208**, 2001, 110-112.

Прецизионные исследования атмосферной линии поглощения водяного пара 183 ГГц

Кошелев М.А. (koma@appl.sci-nnov.ru), Крупнов А.Ф., Третьяков М.Ю., Паршин В.В.,
Мясникова С.Е., Шанин В.Н., Доровских В.В.

Институт Прикладной Физики РАН, Ульянова 46, 603950 Нижний Новгород, Россия

Молекула воды – одна из наиболее жизненно важных молекул. Климат, перенос загрязнений, экология, ослабление жесткого ультрафиолетового излучения Солнца – все эти процессы связаны с содержанием паров воды в атмосфере. В то же время малейшая концентрация водяного пара может быть отрицательным фактором, влияющим на химические реакции в сверхчистых технологиях, при получении сверхчистых веществ. Поэтому в современных технологиях необходимо иметь высокочувствительные методы контроля малых концентраций H_2O . К тому же, потери излучения в атмосфере, определяющиеся в основном поглощением в парах воды и кислороде, играют важную роль в распространении радиоволн. Спектральная линия поглощения водяного пара у 183 ГГц имеет широкое практическое применение. Например, она активно используется при дистанционном зондировании атмосферы с бортов летательных аппаратов и искусственных спутников Земли, где точность восстановления параметров атмосферы определяется точностью параметров линии, которые могут быть получены только в лаборатории.

В нашей работе исследования спектральной линии поглощения водяного пара у 183 ГГц производились на резонаторном спектрометре диапазона 40–200 ГГц с быстрым прецизионным управлением частотой излучения, блок-схема и подробное описание которого представлены в [1]. Измерительным элементом является открытый резонатор Фабри-Перо, возбуждаемый излучением через расположенную под углом 45° к оси резонатора тефлоновую пленку толщиной 6 мкм. При этом добротность резонатора (~ 600000) определяется неустраняемыми потерями на отражение от покрытых серебром зеркал. Источником излучения служит лампа обратной волны (ЛОВ), стабилизированная системой фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Отличительной особенностью данного спектрометра является возможность быстрого сканирования частоты ЛОВ (время переключения частоты 200 нс, время между переключениями порядка 58 мкс). Это позволяет достигать точности 20 Гц в определении ширины резонансной кривой резонатора, что соответствует чувствительности установки по поглощению порядка 0,002 дБ/км, и предоставляет возможность использования резонаторного спектрометра для определения малых концентраций водяного пара и кислорода в атмосфере в рабочем диапазоне частот. Принцип измерения поглощения излучения основан на изменении добротности резонатора Фабри-Перо при внесении в него исследуемого образца. Это изменение рассчитывается через ширину резонансной кривой резонатора. Для увеличения точности эксперимента изолированный от атмосферы резонатор осушался (сначала сухим воздухом до 1,5% относительной влажности, а затем чистым азотом до влажности менее 0,5%) и снималась аппаратная функция. Затем производилось непосредственное измерение поглощения излучения в реальной атмосфере лаборатории.

В результате эксперимента были получены записи спектральной линии поглощения водяного пара у 183 ГГц при разных значениях влажности воздуха. Соотношение сигнал/шум на линии составило величину порядка 300 при 37% относительной влажности. Из обработки контура линии были определены параметры уширения линии азотом и сухим воздухом, а также измерен параметр сдвига линии давлением воздуха. Точность измеренных параметров значительно превосходит точности, достигнутые другими исследователями, что позволяет использовать полученные нами параметры в различных практических приложениях, при моделировании атмосферы.

Работа поддержана грантами РФФИ № 02–02–06351, № 00–02–16604 и контрактом Министерства Промышленности, Науки и Технологий РФ № 40.020.1.1.1160.

1. A.F. Krupnov, M.Yu. Tretyakov, V.V. Parshin, V.N. Shanin, S.E. Myasnikova, *Journ. Molec. Spectrosc.*, **202**, 2000, 107 – 115.

Использование рядов экспонент в расчетах функций пропускания H_2O , CO_2 и O_3 в ИК-области спектра

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

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

Методики k -распределений, как известно, используют представление радиационных величин с помощью рядов экспонент с коэффициентами, вычисленными тем или иным способом. Главное отличие методики, разрабатываемой авторами [1], от имеющихся версий заключается в том, что она позволяет получить точные выражения для коэффициентов разложения исследуемых функций в ряды экспонент. С ее помощью созданы алгоритмы расчета интегралов с функцией пропускания для однородных и неоднородных трасс, интегралов с функцией источника, а также непосредственно радиационных потоков Земли, Солнца и атмосферы. Соответствующие выражения для потоков через коэффициенты разложения в ряды экспонент используют коэффициенты разложения для интегралов, содержащих функцию Планка. Коэффициенты в этих разложениях ведут себя гладко с высотой, что предполагает удобство их использования для интерполяции.

Известно, что для расчета радиационных потоков в радиационных блоках климатических моделей удобными оказались однопараметрические аппроксимационные формулы для функций пропускания, взвешенных с функцией Планка, полученные Чу с соавторами [2] с помощью рядов экспонент. Однако, в ряде случаев, в частности, для полосы озона в ИК диапазоне, им пришлось использовать сложные интерполяционные таблицы.

В работе исследуется возможность применения полученных нами разложений для уточнения формул Чу для газов, важных для формирования радиационного режима.

Работа поддержана Российским Фондом Фундаментальных Исследований, грант № 00–05–65209.

1. Tvorogov S.D., L.I. Nesmelova, O.B. Rodimova. k -distribution of transmission function and theory of Dirichlet series, *JQSRT*, **66**, 2000, 243–262.
2. Chou M.-D., Ridgway W.L., Yan M. M.-H. One-parameter scaling and exponential-sum fitting for water vapor and CO_2 infrared transmission functions, *J. Atmos. Sci.*, **50**, 14, 1993, 2294–2303.

Спектр поглощения контактных димеров молекул $^{13}\text{CO}_2$ в области 4,4 мкм

Бурцев А.П. (burcev@molsph.phys.spbu.ru), Коломийцева Т.Д., Щепкин Д.Н.

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

Изучение спектральных характеристик углекислого газа достаточно актуально вследствие его определяющей роли в возникновении парникового эффекта, в особенности, это относится к области фундаментальной полосы поглощения ν_3 . Поскольку межмолекулярные взаимодействия, в т.ч. резонансные взаимодействия дипольных моментов могут приводить к заметным изменениям формы спектральных полос, изучение спектров поглощения димеров молекул CO_2 должно представлять значительный интерес.

В настоящей работе методом спектроскопии криогенных растворов были изучены ИК спектры контактных димеров ($^{13}\text{CO}_2$)₂ в растворе в жидком криптоне в области 4,4 мкм. Эксперименты проводились в диапазоне температур 125–135 К и концентраций примесных молекул 10^{-4} – 10^{-3} мд. Регистрация спектров осуществлялась с помощью спектрофотометра IFS-28 Bruker, использовался охлаждаемый парами жидкого азота криостат с величиной слоя 0,1 мм.

Использование криоспектроскопической методики позволило надежно выделить квадратичную по концентрации CO_2 часть поглощения, которую можно отнести к спектру поглощения контактных димеров. Анализ спектральных характеристик позволил определить величину расстояния между молекулами в димере $R(\text{C}-\text{C}) \sim 4,4 \text{ \AA}$, что согласуется с

литературными данными по димерам CO_2 в газовой фазе, а также оценить величину константы димеризации $K_d \sim 0,3 \cdot 10^{-21} \text{ см}^3/\text{молекула}$.

Быстрый метод расчета фойгтовского профиля линии поглощения в задачах расчета функции пропускания атмосферы для линейчатого спектра

Чаянова Э.А. (ella@cao.mipt.ru), Ивановский А.И., Борисов Ю.А., Глазков В.Н., Банкова Т.В.
Центральная Аэрологическая Обсерватория Роскомгидромета, Первомайская 3, 141700 г.Долгопрудный Московской обл., Россия

В расчетах функции пропускания атмосферы для линейчатых спектров (метод line-by-line) используется, как правило, контур линии Фойгта, комбинирующий уширение линии за счет теплового движения молекул (эффект Доплера) и за счет соударений с другими молекулами (уширение Лоренца). В формуле Фойгта используются безразмерные параметры **a** и **b**, связанные с параметрами линии поглощающей молекулы и параметрами атмосферы, в частности, с полушириной линии и частотой центра линии, зависящими в свою очередь от температуры и давления. Величина **b** меняется в широких пределах от значений, близких к 0 в центре линии, до значений, равных 1000 и более в далеком крыле линии. Величина **a**, характеризующая соотношение эффектов Лоренца и Доплера, меняется от значений порядка 5 у поверхности Земли, до значений 10^{-5} в стратосфере. Для численных расчетов формула Фойгта неудобна, содержащийся в ней интеграл требует мелкого шага и, соответственно, большого времени счета. Путем ряда преобразований удалось представить профиль линии в виде суммы членов абсолютно сходящегося ряда, содержащего аргументы **a** и **b**. Для значений аргумента **b** от 0 до 5 число членов ряда, равное 20, обеспечивает высокую точность. При сравнении с расчетом по формуле Фойгта отклонение не превышает $4 \cdot 10^{-4}$ ($\sim 0,04\%$). Однако при росте **b** число учитываемых членов необходимо увеличивать и, соответственно, увеличивается время счета. Для значений **b** > 5 используется квадратурная формула Эрмита с числом членов ряда, равным 5. Отклонение от точной формулы Фойгта для **b** > 5 не превышает $2 \cdot 10^{-5}$ ($\sim 0,002\%$).

Используя новые представления Фойгтовского профиля линии, авторы провели расчет функции пропускания атмосферы на трассе Солнце–спутник для сетки прицельных высот относительно Земли от 1 км до 85 км с шагом 1 км для 29 участков спектра в области поглощения водяного пара (933–959 нм) и для 14 участков спектра в области поглощения молекулярного кислорода (758–771 нм) с учетом аппаратной функции спектрометра SAGE-III, установленного на спутнике Метеор-3М № 1. Расчеты выполнены для заданных профилей H_2O , O_2 , температуры и давления. Использовалась полоса линейчатого спектра водяного пара от 862 нм до 1042 нм, содержащая 5011 линий вместе с изотопами и полоса кислорода от 758 нм до 778 нм, содержащая 290 линий. Для характеристик линий поглощения указанных газов использовалась база данных HITRAN-2000. Наши расчеты функции пропускания были сравнены с расчетами американских коллег для тех же условий. Максимальное расхождение в оптической толщине составляет $\sim 15\%$ для прицельной высоты 11 км для водяного пара, для других прицельных высот и для оптической толщины молекулярного кислорода отклонения не превышает 10%. Обсуждаются причины расхождения.

Оценка точности современных методов описания спектров прозрачности атмосферы

Киселёва М.С., Казбанов В.А., Голованов С.Н. (sgolovanov@mail.ru), Решетникова И.Н., Синельникова Г.Е.

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

Обсуждено соответствие методов line-by-line и "эффективных количеств" для описания спектров прозрачности атмосферы. Отмечено, что в области прикладной атмосферной спектроскопии эти два метода являются доминирующими.

Осуществлены расчёты line-by-line атмосферных спектров пропускания H_2O и CO_2 в области 3300 см^{-1} – 5000 см^{-1} при различных спектральных разрешениях $\Delta\nu = 0,5\text{ см}^{-1}$ – 20 см^{-1} . Расчёты проведены для однородных оптических трасс, соответствующих атмосферным условиям в области 0–35 км. Рассчитанный методом line-by-line ансамбль спектров пропускания атмосферы описан с использованием метода эффективных количеств поглощающего газа. Определены границы и точности соответствия вычисленных двумя методами спектров пропускания атмосферы.

Рассмотрено также соответствие экспериментальных спектров атмосферного пропускания ($\nu = 3400$ – 4500 см^{-1} ; $\Delta\nu = 0,8\text{ см}^{-1}$), полученных в стратостатных экспериментах, проведённых авторами данной работы ранее, с результатами соответствующих расчётов line-by-line с использованием современных банков спектроскопических данных HITRAN.

Сделаны выводы по результатам сопоставления.

Кратко рассмотрены новые реализации метода эффективных количеств в программах расчётов спектральной и интегральной (эффективной) прозрачности атмосферы в области 0,2–25,0 мкм, разработанных авторами предлагаемого сообщения.

Усовершенствованная модель для задачи нарушения ЛТР для молекулы CO_2 в ночной атмосфере Марса

Огибалов В.П. (vpo@lmupa.phys.spbu.ru), Швед Г.М.

НИИ Физики Санкт-Петербургского государственного университета, Ульяновская ул. 1, 198504 Санкт-Петербург, Петродворец, Россия

Для ночной мезосферы и термосферы Марса даны оценки населенности возбужденных колебательных состояний молекулы CO_2 и скорости выхолаживания атмосферы в 15 мкм полосе CO_2 . Оценки впервые выполнены: (а) с полным учетом перекрывания линий по частотам в 15 мкм полосе; (б) для широкого набора колебательных состояний молекулы CO_2 ; (в) при использовании константы скорости тушения состояния $\text{CO}_2(01^10)$ при столкновениях с атомами О, измеренной недавно при низких температурах.

По сравнению с предыдущими исследованиями проблемы нарушения ЛТР для колебательных состояний CO_2 в марсианской атмосфере в данной работе в оптическую модель включено 321 возбужденных колебательных состояний, принадлежащих семи изотопам молекулы CO_2 , и 779 радиационных колебательных переходов. Наивысшим по энергии являлось колебательное состояние 20^0_3 основного изотопа $^{12}\text{C}^{16}\text{O}_2$ с энергией порядка 9500 см^{-1} , причем рассмотрены также высокие состояния моды ν_2 вплоть до девятикратного возбуждения для основного изотопа $^{12}\text{C}^{16}\text{O}_2$ и малораспространенные изотопы $^{16}\text{O}^{13}\text{C}^{18}\text{O}$, $^{16}\text{O}^{13}\text{C}^{17}\text{O}$ и $^{12}\text{C}^{18}\text{O}_2$ и оценен вклад этих состояний и изотопов в выхолаживание. Спектроскопические параметры колебательно-вращательных линий (частоты, интенсивности и ширины линий) взяты из базы данных HITRAN-96.

Основные результаты состоят в следующем:

1. Приближение изолированных линий обеспечивает удовлетворительную точность оценки скорости лучистого охлаждения и завышает колебательные температуры состояний

моды ν_2 не более, чем на 3 К для молекулы $^{12}\text{C}^{16}\text{O}_2$, и не более, чем на 2 К для малораспространенных изотопов молекулы CO_2 .

2. Достаточно высокая точность оценок скорости охлаждения может быть обеспечена при учете только фундаментальных колебательных переходов в молекулах $^{12}\text{C}^{16}\text{O}_2$, $^{13}\text{C}^{16}\text{O}_2$, $^{16}\text{O}^{12}\text{C}^{18}\text{O}$ и $^{16}\text{O}^{12}\text{C}^{17}\text{O}$ и горячих переходов $2\nu_2 \rightarrow \nu_2$ и $3\nu_2 \rightarrow 2\nu_2$ в молекуле $^{12}\text{C}^{16}\text{O}_2$.
3. Вертикальный профиль полной скорости лучистого охлаждения обнаруживает два максимума. Максимум около высоты 130 км очень чувствителен к значениям температуры и отношения смеси О в атмосфере, а максимум около высоты 100 км, наоборот, малочувствителен к ним и имеет порядок величины 150 К/сутки.

Кинетика электронно-колебательного возбуждённых продуктов фотолиза O_3 и O_2 в средней атмосфере (СА). Профили населённостей колебательных состояний $\text{O}_2(X^3\Sigma_g^-, v)$ и $\text{H}_2\text{O}(010)$

Янковский В.А. (valentine.yankovsky@paloma.spbu.ru), Мануйлова Р.О.

*НИИ физики им. В.А. Фока Санкт-Петербургского государственного университета, Ульяновская 1, 198504
Санкт-Петербург-Петродворец, Россия*

В предлагаемой модели кинетика возбуждённых продуктов фотолиза озона дополнена процессами передачи энергии между электронно-колебательно возбуждёнными состояниями молекулы кислорода.

Представлены блок-схемы передачи энергии между электронно-колебательно-возбуждёнными продуктами фотолиза озона и молекулярного кислорода в средней атмосфере.

Учёт колебательной кинетики в фотохимической модели фотолиза озона позволил оценить населённости колебательных состояний $\text{O}_2(X^3\Sigma_g^-, v)$ за счёт передачи энергии колебательного возбуждения от $\text{O}_2(b^1\Sigma_g^+, v)$ и $\text{O}_2(a^1\Sigma_g, v)$ и взаимодействия между этими компонентами при столкновениях. Значения концентраций $\text{O}_2(X^3\Sigma_g^-, v)$ необходимы для расчётов интенсивности неравновесного излучения в ИК полосах колебательно возбуждённых H_2O .

Представлены рассчитанные вертикальный профиль населённости $\text{O}_2(X^3\Sigma_g^-, v=1)$ и дневные профили населённости 13 возбуждённых колебательных состояний молекулы H_2O .

Влияние высотного изменения температуры на неравновесную населённость колебательных состояний молекул в планетных атмосферах

Семенов А.О. (semenov@lmupa.phys.spbu.ru), Швед Г.М.

Научно-исследовательский институт физики им. В.А. Фока Санкт-Петербургского государственного университета, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Петродворец, Россия

Модель стандартной задачи переноса излучения в колебательно-вращательной полосе, которая была предложена Шведом и Семеновым (*Астрон. Вест.*, **35**, 234–249, 2001) для случая нарушения условий локального термодинамического равновесия (ЛТР) по колебательным состояниям молекулы, применена для исследования населённости этих состояний в неизотермической планетной атмосфере. Профиль температуры в атмосфере задан как температурное "возмущение" в виде гауссовской функции, которое наложено на изотермическую атмосферу. Продемонстрировано сложное воздействие профиля температуры на населённость состояний, затрудняющее простое аналитическое представление этого воздействия.

Исследовано влияние особенностей профиля температуры в слое выполнения ЛТР на высоту нарушения ЛТР, и предложен критерий определения тех особенностей, которые слабо влияют на эту высоту. На примерах населенности состояний 010 и 001 молекулы CO_2 в атмосферах Земли и Марса продемонстрирована эффективность формул, предложенных для оценки высоты нарушения ЛТР.

СЕКЦИЯ 5. СПУТНИКОВАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ

Председатель: к.ф.-м.н. **А.Б. Успенский** (НПО «Планета», Москва)

Сопредседатели: к.ф.-м.н. **Л.П. Бобылев** (НАНСЕН-Центр, Санкт-Петербург),
к.ф.-м.н. **Ю.А. Борисов** (ЦАО, Москва)

О проявлении мезомасштабных океанских явлений на радиолокационных изображениях поверхности океана

Акимов Д.Б. (dima@niersc.spb.ru)

*НФ «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена»,
Б. Монетная 26/28, 197101 Санкт-Петербург, Россия*

Кудрявцев В.Н. (kudr@rshu.ru)

Морской Гидрофизический институт, Капитанская 2, 335000 Севастополь, Украина

Т. Элдевик, О.М. Йоханнессен

Nansen Environmental and Remote Sensing Center, Edvard Griegsvei 3a, N-5059, Bergen, Norway

В последние годы спутниковые радиолокаторы все больше привлекают внимание исследователей как интересный и мощный инструмент изучения поверхности океана. В частности, имеются неоднократные экспериментальные подтверждения наблюдаемости мезомасштабных океанических явлений (фронтов, вихрей, внутренних волн) на радиолокационных изображениях (РЛИ).

В данной работе предлагается модель отображения мезомасштабной изменчивости океана (явления с пространственными масштабами от сотен метров до десятков километров) на РЛИ.

К настоящему времени создано несколько моделей, описывающих изображение радиолокатором морской поверхности с произвольным пространственно-неоднородным полем течений. Их общепризнанным недостатком является неспособность воспроизвести сильные изменения удельной эффективной поверхности рассеяния (УЭПР) в зонах градиентов поля поверхностных течений. В данной работе предлагается усовершенствование общепринятой двухмасштабной модели. Рассматривается дополнительный вклад в УЭПР за счет зеркального отражения на барашках обрушивающихся волн.

Трансформация статистических характеристик волнения под действием неоднородных течений находится из решения уравнения баланса волнового действия в релаксационном приближении. Рассматриваются два предельных случая, дающие возможность получить простое аналитическое решение уравнения – случай «быстрых волн», когда пространственный масштаб релаксации волн заметно больше масштаба изменчивости течения, и обратный случай «быстрой релаксации». В последнем случае спектр волнения оказывается приспособлен под локальную скорость ветра и «не чувствует» изменчивости поля течений. В первом случае оказывается, что фактором, наиболее сильно определяющим модуляцию спектра волнения, является дивергенция поля течений.

Разработанная модель используется для интерпретации данных радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) спутников ERS-1,2 собранных во время экспедиции «CoastWatch-95» в районе Норвежского Берегового Течения. Показано, что включение влияния обрушения волн и трансформации приводного слоя атмосферы улучшает согласие модельных расчетов с измеренными вариациями УЭПР по сравнению с традиционной двухмасштабной моделью.

Приводятся результаты моделирования отображения мезомасштабных вихрей на РЛИ для различных ветровых условий. Показано, что контраст УЭПР растёт с уменьшением скорости ветра. Скопление плёнок поверхностно-активных веществ в зонах конвергенции течений усиливает контрасты УЭПР мезомасштабных вихрей.

Сравнительный анализ данных о распространении многолетних льдов в Арктике, полученных при помощи микроволнового радиометра SSM/I и спутниковых радиолокационных изображений

Александров В.Ю. (vitali.alexandrov@niersc.spb.ru), Бобылев Л.П., Самсонов И.В.
НФ «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им.Нансена»,
Б. Монетная 26/28, 197101 Санкт-Петербург, Россия

О.М. Йоханнессен, К. Клостер

Nansen Environmental and Remote Sensing Center, Edvard Griegsvei 3a, N-5059, Bergen, Norway

Ледяной покров арктических морей рассматривается как потенциальный индикатор глобального потепления, которое по данным численных моделей климата будет наиболее заметным в Арктике. Спутниковая микроволновая радиометрия является одним из наиболее эффективных методов изучения ледяного покрова благодаря возможности глобального покрытия и получения данных независимо от условий погоды и естественной освещенности. Значительный контраст между излучательной способностью водной поверхности и морского льда обуславливает возможность оценки таких параметров как граница распространения льда и его сплоченность. По данным многоканального радиометра SSM/I оценивается также частная сплоченность многолетних льдов, однако по данным некоторых публикаций точность ее определения значительно хуже, чем для общей сплоченности. Это обусловлено рядом причин, среди которых можно назвать изменчивость излучательной способности многолетних льдов, наличие замерзших снежиц на его поверхности, влияние снежного покрова и некоторые другие. Для вычисления частной сплоченности многолетних льдов по данным SSM/I нами использовался алгоритм NORSEX. В настоящее время с использованием этого алгоритма оцениваются климатические тренды в распространении многолетнего льда. В то же время количество работ, посвященных верификации полученных оценок, весьма ограничено.

Данное исследование направлено на сравнительный анализ характеристик многолетнего льда, полученных по данным SSM/I и по радиолокационным изображениям спутников «Океан», RADARSAT и ERS. Спутниковые радиолокационные изображения характеризуются значительно более высоким пространственным разрешением по сравнению с SSM/I, и оцененные по ним значения частной сплоченности многолетних льдов являются более достоверными. Для сравнения нами использовались изображения спутника «Океан», полученные зимой 1994/95, 1995/96 и в апреле 1998 годов, изображения RADARSAT для зимы 1997/98 годов и изображения ERS-2, полученные в ноябре 1996 года. По всем этим изображениям определялось положение границы распространения многолетних льдов и оценивалась их частная сплоченность. Границы выделенных по радиолокационным изображениям зон накладывались на синхронное изображение SSM/I и в них вычислялись соответствующие оценки частной сплоченности многолетних льдов.

Анализ полученных данных выявил их качественное соответствие для центральной части Арктического бассейна. Проведенные сравнения показали, что положение границы многолетних льдов, полученное по данным радиолокационных изображений, совпадает со значительным градиентом частной сплоченности этих льдов по данным SSM/I, однако численные значения оцениваемого параметра могут существенно различаться. Как правило, значения частной сплоченности, полученные по данным SSM/I, были меньше аналогичных оценок, полученных по радиолокационным изображениям. SSM/I также показал наличие многолетних льдов в районах, где они не встречаются вообще: в Охотском, Беринговом и Печорском морях, в центральной и южной частях морей Баренцева и Карского. Исследования в данном направлении предполагается продолжить, а их результаты использовать при совершенствовании алгоритмов определения параметров морских льдов по данным спутниковых микроволновых радиометров.

Корреляционные связи между данными AVHRR/NOAA и характеристиками атмосферного аэрозоля (для условий г. Томска)

Белов В.В. (belov@iao.ru), Афонин С.В., Белан Б.Д., Панченко М.В., Сакерин С.М.,
Кабанов Д.М.

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

Для изучения региональных свойств атмосферного аэрозоля применяются различные средства дистанционного мониторинга и в том числе результаты спутниковых измерений. В работе проведена оценка принципиальных возможностей использования системы AVHRR/NOAA в Томском регионе для регулярного космомониторинга атмосферного аэрозоля и дымов лесных пожаров. С этой целью для условий Томска (летние месяцы 1998–99 г.г.) выполнен сравнительный анализ данных AVHRR/NOAA и наземных измерений характеристик атмосферного аэрозоля, включающих аэрозольную оптическую толщину (АОТ), коэффициент рассеяния на длине волны $\lambda = 0,52$ мкм, массовое содержание сажи, счетную концентрацию аэрозольных частиц.

На первом этапе исследований был проведен статистический анализ данных информационной базы ИОА СО РАН о метеорологических и аэрозольных характеристиках атмосферы в Томске, что позволило определить их типичные значения и диапазоны вариаций для дальнейшего использования в модельных расчетах. На основе этих данных для широкого набора оптических и геометрических условий наблюдений выполнено численное имитационное моделирование на ЭВМ измерений интенсивности восходящего излучения (ИВИ) в видимых и инфракрасных каналах AVHRR/NOAA. По результатам моделирования исследована зависимость ИВИ от альbedo подстилающей поверхности, метеопараметров атмосферы, содержания аэрозоля и его оптических характеристик (альbedo однократного рассеяния, параметр асимметрии индикатрисы рассеяния). На основе расчетных данных составлены необходимые для атмосферной коррекции спутниковых измерений AVHRR и восстановления АОТ таблицы характеристик атмосферной дымки и пропускания атмосферы для всего диапазона изменений условий наблюдений. При выполнении первого этапа исследований были получены следующие основные результаты:

- 1) для различных оптико-геометрических условий спутниковых наблюдений определена чувствительность измерений в каналах AVHRR к вариациям аэрозольных характеристик, метеопараметров атмосферы и характеристик подстилающей поверхности;
- 2) сформулированы количественные требования к характеристикам априорной информации об атмосфере и подстилающей поверхности для восстановления АОТ с заданной точностью;
- 3) исследован процесс формирования (за счёт аэрозольного рассеяния солнечного излучения) локального максимума сигнала в каналах 1,2,3 AVHRR (0,63, 0,84, 3,7 мкм) при низкой угловой высоте Солнца и малых относительных азимутах, когда вклад рассеянного солнечного излучения может доминировать в сигнале над вкладом отраженного от подстилающей поверхности излучения.

На втором этапе исследований проводился корреляционный анализ данных AVHRR/NOAA и наземных измерений характеристик атмосферного аэрозоля. Предварительная обработка спутниковой информации включала следующие основные моменты:

1. калибровка, географическая привязка, визуализация и отбраковка облачных снимков;
2. статистический анализ пространственно-временной изменчивости данных в окрестности Томска с целью поиска "темных" участков подстилающей поверхности, характеризующихся малыми значениями альbedo и пространственной квазиоднородностью;
3. атмосферная (молекулярная) коррекция спутниковых измерений с учетом реального метеосостояния атмосферы и геометрии наблюдений на момент проведения космомониторинга.

В результате сравнительного анализа спутниковых данных и наземных измерений аэрозольных характеристик получен следующий основной вывод. Установлена статистически значимая корреляционная связь между данными первого и второго каналов AVHRR и наземными измерениями. Этот факт говорит о возможности использования спутниковой системы AVHRR/NOAA для мониторинга в Томском регионе свойств атмосферного аэрозоля и дымов лесных пожаров с применением методов интерпретации спутниковых измерений, адаптированных к региональным условиям наблюдений.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант РФФИ № 01–05–65494).

Роль атмосферной коррекции в задаче космомониторинга малоразмерных (subpixel) высокотемпературных объектов на подстилающей поверхности

Белов В.В. (belov@iao.ru), Афонин С.В.

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

Дистанционное зондирование подстилающей поверхности из космоса позволяет решать актуальную проблему мониторинга малоразмерных (subpixel) высокотемпературных объектов (МВТО), которую можно разбить на две самостоятельные задачи: 1) обнаружение объекта; 2) восстановление его характеристик (пространственных, энергетических и т.д.). Достижение максимальной точности решения этих задач (особенно второй) требует учёта искажающего влияния атмосферы.

На основе данных численного моделирования в работе исследованы два основных вопроса:

- 1) роль атмосферной коррекции и характеристик качества априорной метеорологической информации (АМ) на результаты восстановления интенсивности теплового излучения МВТО в канале 3 ($\lambda = 3,7$ мкм) спутниковой системы AVHRR/NOAA;
- 2) влияние геометрии спутниковых наблюдений и аэрозольных характеристик на интенсивность рассеянного атмосферой (J_{SCT}) и отраженного подстилающей поверхностью (J_{REF}) солнечного излучения в спектральной области 3,5–4 мкм.

Для исследования первой задачи проведены расчеты пропускания атмосферы и характеристик восходящего излучения в ИК-каналах AVHRR/NOAA для условий Томска с учетом реальной геометрии спутниковых наблюдений. Метеопараметры атмосферы задавались на основе данных ИОА СО РАН за период май–сентябрь 1998–2000 г.г. Спутниковые измерения имитировались расчётными данными с использованием метеоданных, ближайших по времени к моментам проведения спутниковых наблюдений. В поле зрения прибора задавался МВТО с температурой 800–1200 К и площадью 10–1000 м². С целью атмосферной коррекции “спутниковых измерений” и вычисления требуемых для этого характеристик использовались различные типы АМ:

1. метеоизмерения, выполненные на 1 час раньше момента проведения космомониторинга;
2. “стандартные” метеоизмерения, производимые с интервалом 3 часа на метеостанциях;
3. метеоизмерения, выполненные сутками раньше момента проведения мониторинга;
4. среднемесячные метеоданные.

Получены зависимости между различными характеристиками АМ и точностью восстановления интенсивности излучения МВТО. Результаты расчетов показывают, что для МВТО площадью менее 100–200 м² характеристики АМ оказывают заметное влияние на результаты восстановления. В зависимости от типа АМ среднеквадратическая ошибка восстановления может отличаться в несколько раз, но остаётся, как минимум, в 2 раза ниже, чем без проведения атмосферной коррекции.

Для исследования второй задачи проведены расчеты значений J_{SCT} и J_{REF} в канале 3 AVHRR/NOAA для следующих диапазонов оптико-геометрических параметров спутниковых

наблюдений (использовались метеорологические и аэрозольные модели из программы LOWTRAN-7)

- *метеорологические параметры* – модель среднеширотного лета;
- *модели приземного аэрозоля* – rural aerosol and urban aerosol со значениями дальности видимости МДВ = 50–1 км;
- *геометрические параметры наблюдений* – угол сканирования $\theta = 0\text{--}55^\circ$, высота Солнца $H_S = 75\text{--}0^\circ$, относительный азимут наблюдений $\varphi = 0\text{--}180^\circ$.

Анализ результатов моделирования показал весьма сложный характер зависимости величины J_{SCT} от параметров наблюдений. В качестве главной его особенности можно отметить заметную азимутальную зависимость величины J_{SCT} , которая проявляется с ростом угла сканирования θ и замутненности атмосферы. В области малых значений высоты Солнца H_S порядка 10° при азимутах наблюдений $\varphi < 50^\circ$ наблюдается формирование локального максимума J_{SCT} , амплитуда которого зависит от значений θ и характеристик приземного аэрозоля. Для Томска реализуются такие соотношения геометрических параметров H_S и φ , при которых может возникать подобное “аномальное” поведение величины J_{SCT} . Следовательно, для корректного учета искажающего влияния солнечного излучения при мониторинге МВТО требуются более полные знания оптико-геометрических параметров наблюдений, чем обычно используемая на практике величина H_S .

Исследование полей озона и температуры по данным спутниковых измерений

Галкина И.Л. (iranice@mail.ru), Крученицкий Г.М., Перов С.П.

Центральная Аэрологическая Обсерватория, Первомайская 3, 141700 Долгопрудный, Московская обл., Россия

Осуществлен анализ данных, полученных во время I (ноябрь 1994 г.) германо-американского космического эксперимента CRISTA на спутнике ASTRO-SPAS. Обнаружена область температурных аномалий в Южном полушарии на долготах, соответствующих Южной Америке, где наиболее часто происходят выбросы вихревых образований с экстремально низким содержанием озона во время весеннего разрушения антарктического циркумполярного вихря. Установлено, что эти аномалии на высоте 20 км являются отрицательными, а на высоте 40 км положительными. Исследована внутризональная изменчивость температуры и отношения смеси для озона и получены количественные параметры, описывающие её возрастание от экватора к полюсам. На основе изучения широтно–высотных разрезов коэффициентов автокорреляции значений температуры и озона в соседних четырехградусных широтных поясах количественно исследована интенсивность меридионального переноса консервативной примеси. В частности, показано, что область отсутствия меридионального переноса примыкает к экваториальной зоне и заметно смещена в сторону весеннего полушария. Изучение широтно–высотного распределения коэффициента взаимной корреляции значений температуры и отношения смеси озона позволило локализовать широтно–высотное расположение области химического равновесия и установить, что она, как и следовало ожидать, расположена в весеннем полушарии заметно ниже, чем в осеннем. Обнаружены изолированные области малых значений коэффициента корреляции на небольших стратосферных высотах, свидетельствующие о наличии стоков озона, эффективность которых возрастает с ростом температуры. В качестве таких стоков могут выступать процессы прямого разрушения озона на поверхности аэрозольных частиц различного происхождения. Разработаны, программно реализованы и тестированы на данных полётных измерений алгоритмы картирования относительной интенсивности вертикальных движений в средней атмосфере. Обсуждается значение полученных результатов для построения статистических и тестирования динамических моделей средней атмосферы.

Сопоставление спутниковых измерений общего содержания озона с данными многолетних наблюдений российской озонметрической сети

Ионов Д.В. (ionov@troll.phys.spbu.ru), Тимофеев Ю.М.

Санкт-Петербургский государственный университет; Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Петродворец, Россия

Шаламянский А.М. (ozon@peterlink.ru)

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

J.C. Lambert

Institut d'Aeronomie Spatiale de Belgique

Измерения общего содержания озона (ОСО) уже длительное время осуществляются спутниковыми методами, в частности, на основе интерпретации измерений отраженного и рассеянного солнечного излучения в УФ области спектра. С помощью американской спутниковой аппаратуры TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) получен длительный ряд ежедневных глобальных измерений ОСО с ноября 1978 года. В апреле 1995 года на борту европейского спутника ERS-2 был запущен прибор GOME (Global Ozone Monitoring Experiment), важнейшей задачей которого также является глобальное картирование ОСО.

Точность определения ОСО по данным спутниковых измерений обусловлена совокупностью разнообразных факторов: погрешность измерений прибора, абсолютная и спектральная калибровка, погрешности телеметрии, особенности алгоритма интерпретации, исходная спектроскопическая и априорная информация. Практическое использование данных измерений возможно после тщательного анализа их соответствия предъявляемым требованиям точности на основе интенсивных согласованных исследований по валидации спутниковых данных. Настоящее исследование посвящено сопоставлению данных измерений ОСО спутниковой аппаратурой TOMS и GOME в период с 1996 по 2001 год, с данными одновременных наблюдений на станциях российской озонметрической сети.

В частности, проведено сопоставление данных GOME об ОСО для двух версий оперативной обработки (2.0 и 2.7) с одновременными измерениями на 7 станциях российской озонметрической сети (спектрофотометр М-124) в течение всего 1996 года. Результаты сопоставлений выявили систематическое занижение величины ОСО в данных GOME по сравнению с наземными измерениями, составляющее в среднем за год около 6%. Отмечено, что усовершенствованный алгоритм интерпретации результатов измерений GOME (версия 2.7), внедренный в качестве оперативной системы обработки в 1999 г., позволяет уменьшить эту величину до 4%, однако систематический характер расхождений сохраняется. Наилучшее согласие данных GOME с наземными измерениями отмечено для весны ($\pm 7\%$), а наибольшее расхождение – для осени ($\pm 10\%$). Причиной выявленных ошибок в данных измерений GOME могут быть существенные отклонения реального состояния атмосферы в отдельные сезоны от используемых в оперативной системе обработки спутниковых измерений модельных представлений.

Более детальное исследование охватывает сопоставление данных GOME об ОСО версии 2.7 с наблюдениями на 17 российских озонметрических станциях в период с 07.1996 г. по 03.2001 г.; при этом используемые результаты наземных измерений сравнивались и с данными одновременных измерений спутниковой аппаратурой TOMS. Общий ансамбль полученных сопоставлений состоит из 14400 одновременных измерений GOME, TOMS и М-124. Данные GOME оказываются в среднем на 3% ниже наземных измерений, в то время как среднее расхождение между данными TOMS и одновременными российскими наземными измерениями составляет всего 0,3%. Среднеквадратичные расхождения между данными спутниковых и наземных измерений ОСО составляют 5,6% для данных TOMS и 7,4% для данных GOME, что в пределах совместной погрешности сопоставляемых измерений. Средние расхождения между данными GOME и наземными измерениями существенно зависят от времени года и максимальны осенью, когда GOME дает на 6% более низкие значения ОСО, по сравнению с наземной сетью, и минимальны

весной, когда данные GOME оказываются на 0,6% выше результатов наземных измерений. При этом согласие данных TOMS с одновременными наземными измерениями ОСО не испытывает подобной сезонной зависимости.

В целом, результаты проведенного сопоставления данных спутниковых и наземных измерений ОСО продемонстрировали согласованность данных измерений аппаратуры TOMS с результатами российских наземных измерений и подтвердили выявленные ранее заметные отличия данных измерений аппаратуры GOME от результатов независимых наземных измерений.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (код проекта 00–05–65224) и INTAS (код проекта INTAS–IESA–99–1511).

Диагностика интенсивных атмосферных вихрей по данным многоволнового зондирования из космоса

Нерушев А.Ф. (nerushev@obninsk.org), Тереб Н.В., Крамчанинова Е.К.

*Институт экспериментальной метеорологии НПО «Тайфун», Ленина 82, 249037 Обнинск Калужской обл.,
Россия*

Дистанционное зондирование системы океан–атмосфера из космоса является наиболее эффективным способом изучения генезиса тропических циклонов (ТЦ) и получения оперативных и наиболее полных сведений об их параметрах. При этом наибольшую ценность представляют комплексированные по времени и пространству зондирования вихрей в различных диапазонах длин волн.

В работе описаны предложенные нами два независимых метода определения параметров тропических циклонов (интенсивности ТЦ, эффективных размеров зон штормовых и ураганных ветров и др.) важных для прогноза их движения, подготовки штормовых предупреждений, оценки возможного ущерба и т.д. Методы основаны на использовании данных дистанционного зондирования системы океан–атмосфера в УФ и микроволновом спектральных диапазонах. Приведены результаты конкретных расчетов по данным микроволнового радиометра SSM/I и озонного картографа TOMS для тропических циклонов Атлантики и Тихого океана.

Использованы данные зондирования тропических циклонов Атлантики и Тихого океана в 1998 и 1999 годах микроволновым радиометром SSM/I (Special Sensor Microwave/Imager) с американских искусственных спутников Земли серии DMSP; результаты определения параметров тропических циклонов, передаваемые в шторм-сводках, основанные на данных независимых измерений; поля среднедневных значений общего содержания озона (ОСО) и коэффициента отражения в УФ области спектра подстилающей поверхности в зоне действия каждого ТЦ в течение всего времени его жизни по данным озонного картографа TOMS.

Метод определения характеристик ТЦ по данным зондирования в микроволновой области спектра основан на связи характерных черт радиояркостного изображения ТЦ в высокочастотном канале радиометра SSM/I (85,5 ГГц) со структурными параметрами ТЦ. На основе сравнения результатов обработки данных зондирования ТЦ Атлантики с данными независимых наблюдений оценена точность определения эффективных размеров зон штормовых и ураганных ветров и интенсивности ТЦ. Показано, что относительные значения среднеквадратического отклонения расчетных значений эффективных размеров зон штормовых и ураганных ветров от данных независимых наблюдений составляют соответственно 23% и 44%. При этом абсолютные значения среднеквадратического отклонения практически совпадают со средней пространственной разрешающей способностью каналов радиометра SSM/I.

Определение интенсивности ТЦ основано на корреляционной связи максимальной скорости приводного ветра (V_m) и минимального давления в центре циклона (P_0) с радиояркостной температурой облачной стены «глаза» урагана (T_{ew}) на частоте 19,35 (h).

Предложенный метод позволяет определять сглаженное пространственное распределение скорости приводного ветра во всей зоне действия циклона – от центра до периферии. Приведены примеры восстановления сглаженной пространственной структуры скорости приводного ветра в активной зоне ТЦ в течение нескольких дней их жизни.

Результаты расчета корреляционных связей между характеристиками отрицательной озоновой аномалии, генерируемой ТЦ, и параметрами ТЦ показывают, что наибольшая связь размера озоновой аномалии наблюдается с эффективными размерами зон штормовых и ураганных ветров. Соответствующие коэффициенты корреляции, значимые на уровне 0,05, равны: 0,62 и 0,69 для Атлантики, 0,66 и 0,56 – для Тихого океана. Связь размера озоновой аномалии с V_m значительно более слабая как для Атлантики, так и для Тихого океана. Экстремальная величина озоновой аномалии имеет значимую корреляционную связь с размерами зон штормовых и ураганных ветров (коэффициент корреляции равен минус 0,57 для обоих случаев) только для ТЦ Атлантики, при этом корреляция с V_m не значима.

Ассимиляция спутниковых данных о концентрации льда в океаническую модель для арктического региона

Розанова Ю.Б. (julia.rosanova@niersc.spb.ru), Кузьмина С.И.

*НФ «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им.Нансена»,
Б. Монетная 26/28, 197101 Санкт-Петербург, Россия*

О.М. Йоханнессен (ola.johannessen@nrsc.no)

Nansen Environmental and Remote Sensing Center, Edvard Griegsvei 3a, N-5059, Bergen, Norway

Численное моделирование климатических систем является эффективным средством получения климатических прогнозов, а также изучения и анализа изменчивости климата. Модельные расчеты, однако, никогда не дают абсолютно точного описания состояния климатической системы из-за ошибок оценки параметров физических процессов, граничных и начальных условий. Процесс ассимиляции позволяет интегрировать и анализировать независимые климатические данные совместно с модельными расчетами, а также улучшать модельный прогноз в соответствии с реальными наблюдениями, в качестве которых используются, в том числе, и спутниковые данные, имеющие высокое пространственное и временное разрешение.

Процедура ассимиляции использует фильтр Кальмана для ансамбля модельных состояний, который основан на минимизации оценочной функции для ошибки модели. Фильтр Кальмана обеспечивает обновление модельного состояния через ковариацию модельной ошибки и ошибки наблюдений. Статистика модельной ошибки определяется из ансамбля модельных состояний. Схематически процедуру ассимиляции можно описать следующим образом: для каждого временного шага получают модельный прогноз в виде вектора модельного состояния, далее обновляют этот вектор в соответствии с наблюдениями, используя фильтр Кальмана, затем продолжают интегрирование модели во времени до следующего шага ассимиляции.

В качестве эксперимента спутниковые данные о концентрации морского льда были ассимилированы в океаническую модель. Ледяной покров является важной компонентой климатической системы в области высоких широт и существенно влияет на теплообмен, обмен количеством движения и массой между океаном и атмосферой. Лёд существенно влияет также и на поверхностную плотность океана.

Используемая в работе модель, HYCOM (HYbrid Coordinate Ocean Model), является двойной динамико–термодинамической моделью лёд–океан и разработана для Арктического региона, включающего в себя Северный Ледовитый и часть Атлантического океана. Модель даёт реалистичное описание состояния системы лёд–океан.

В работе использовались спутниковые данные микроволнового радиометра SSM/I. Концентрация льда была получена из значений радиояркостной температуры при помощи алгоритма NORSEX (Norwegian Remote Sensing Experiment).

Для оценки результата применения ассимиляции были выполнены два эксперимента, первый с ассимиляцией, второй без ассимиляции для одного и того же временного периода. Вектор состояния включал в себя переменные, описывающие как состояние океана, так и состояние льда, так как они тесно связаны между собой.

В результате ассимиляции происходит обновление не только поля концентрации льда, но и других модельных полей. Фильтр Кальмана обеспечивает такое обновление через корреляцию между полем ассимилируемой переменной и другими модельными полями, такими, например как толщина льда, температура и соленость. Результаты показали, что обновление модельных полей происходит, как и ожидалось, в пограничных зонах лёд–вода, т.е в областях образования, таяния льда.

Метод последовательной ассимиляции для такой переменной как концентрация льда был применен впервые. Результаты показали, что последовательная схема обновления модельных расчетов концентрации льда улучшает прогноз модельного поля, приближая его к реальным наблюдениям. Подробный анализ временного и пространственного изменения поля концентрации льда и его статистических характеристик показали улучшение прогноза модели по сравнению с модельными расчётами без ассимиляции.

Применение компьютерной томографии и нейронных сетей в микроволновом зондировании конвективных облаков

Самсонов И.В. (igor.samsonov@niersc.spb.ru), Бобылев Л.П.

*НФ «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им.Нансена»,
Б. Монетная 26/28, 197101 Санкт-Петербург, Россия*

Троян В.Н. (troyan@hq.pu.ru)

*Санкт-Петербургский Государственный Университет, Университетская наб. 7/9, 199034 Санкт-Петербург,
Россия*

О.М. Йоханнессен

Nansen Environmental and Remote Sensing Center, Edvard Griegsvei 3a, N-5059, Bergen, Norway

В данной работе рассматривается возможность восстановления водозапаса и поля водности (пространственного распределения жидкокапельной влаги) в конвективных облаках типа Cu med. и Cu cong., расположенных над взволнованной морской поверхностью, на основе дистанционного самолетного пассивного микроволнового зондирования. Рассматриваются облака без осадков и ледяных кристаллов, мощностью от 2 до 4 км. Для обработки данных зондирования предлагается последовательное использование алгоритмов нейронных сетей и компьютерной томографии. В соответствии с выбранной схемой зондирования с самолета, пролетающего над облаком, выполняется сканирование веерного типа в нижней части плоскости, задаваемой направлением движения самолета и направлением в нади́р.

Выполненное исследование основано на численном моделировании эксперимента по замкнутой схеме, при котором последовательно решаются прямая и обратная задачи. Прямая задача состоит в расчете переноса излучения по заданным моделям атмосферы, облака и морской поверхности. Обратная задача эксперимента состоит в нахождении водозапаса и поля водности (ПВ) по рассчитанному в прямой задаче полю излучения, с учетом моделирования приемника излучения. Она была разделена на две последовательные части: 1) нахождение значений водозапаса с помощью нейросетевых алгоритмов; 2) восстановление ПВ в выбранном вертикальном сечении облака с помощью алгоритмов компьютерной томографии.

Для решения первой части обратной задачи выбрана нейросеть с обратным распространением ошибок. Полученная оптимальная конфигурация нейронной сети включает шесть входных нейронов, двенадцать нейронов на скрытом слое и один – на выходе. На вход такой сети подаются значения «измеренных» антенных температур на двух частотных каналах 37 и 89 ГГц с разделением на вертикальную и горизонтальную поляризации, а также зенитный угол сканирования и априорные данные о скорости приводного ветра. На выходе получаем значение водозапаса вдоль направления сканирования. Полученная для тестовых модельных реализаций облака средне-квадратичная ошибка (СКО) восстановления водозапаса составляет 13% от его стандартного отклонения.

При решении второй части обратной задачи рассмотрены четыре томографических алгоритма. Это алгоритм статистической регуляризации, стандартная рекуррентная процедура, один из алгоритмов одновременной итеративной реконструкции, а также менее известный алгоритм «заряженной струны», предложенный Рыжиковым и Трояном [1]. Последний алгоритм показал лучшие результаты восстановления. СКО восстановления поля водности для него составила 28% относительно стандартного отклонения ПВ, а средняя ошибка восстановления максимума ПВ близка к нулю.

Заметим, что решение подобной задачи, но для схемы зондирования облака снизу, было предложено Уорнером и др. [2] и развито Алтуниной, Бобылевым и др. [3]. В этом решении обратная задача также была разделена на две части, но не использовались нейронные сети, а для восстановления ПВ применялся уже упомянутый алгоритм одновременной итеративной реконструкции. К сожалению, в этих работах отсутствовала экспериментальная проверка, но полученная при численном моделировании СКО восстановления ПВ практически совпадает с оценкой, полученной в предлагаемой работе. Однако схема зондирования конвективных облаков с самолета, пролетающего над облаком, на наш взгляд, является более перспективной.

1. Ryzhikov G.A., Troyan V.N. On regularization methods in 3-D tomography. Proc. 9th Int. Seminar on Model Optimization in Exploration Geophysics. Berlin, 1991, 53-61.
2. Warner J., Drake J.F., Krehbiel P.R. Microwave tomography as a mean of determining liquid water profiles in cloud. Proc. 9th Int. Cloud Phys. Conf. Tallin, 21-28 August 1984, 3, 823-826.
3. Алтунина Л.И., Бобылев Л.П., Щукин Г.Г. Восстановление полей водности в конвективных облаках методами пассивной микроволновой томографии. *Труды ГГО*, вып. 526, 1988, 70-78.

Возможности и особенности использования информации спутников Метеор-3М и Метеосат для получения характеристик облаков и осадков

Степаненко В.Д., Веремей Н.Е., Довгало Ю.А., Емельянова В.Н.,

Синькевич А.А. (sinkev@main.mgo.rssi.ru)

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

Использование спутниковой информации для решения оперативных и климатологических 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, которые осуществляют обзор территории России. К таким спутникам относится и спутник Метеосат. Использование численных моделей облаков для интерпретации результатов зондирования спутника Метеосат позволяет получать подробные характеристики облаков и осадков. Проведен цикл численных экспериментов и выполнено сравнение полученных данных с результатами зондирования со спутника. Показано, что данные зондирования удовлетворительно совпадают с результатами численного моделирования.

Известно, что спутник Метеор-3М предназначен для получения информации о вертикальном распределении температуры и влажности воздуха в глобальном масштабе. Для этих целей используется многоканальная микроволновая аппаратура, работающая на длинах

волн от 0,16 до 1,6 см. Выполненные теоретические исследования показали, что эта аппаратура позволяет попутно получать данные об облачности и осадках, а также их влагозапасе. Проведены оценки погрешностей измерений, разработана методика валидации спутниковых данных с использованием одновременных результатов наблюдений и измерений параметров облачности и осадков с помощью наземных МРЛ и аппаратуры, установленной на ИСЗ.

Линеаризованная модель переноса излучения для интерпретации лимбовых измерений SCIAMACHY

Розанов А.В. (alex@iup.physik.uni-bremen.de), Розанов В.В., J.P. Burrows

*Институт физики окружающей среды, Институт дистанционного зондирования Бременского Университета,
п/я 330440, D-28334 Бремен, Германия*

Аппаратура дистанционного зондирования нового поколения SCIAMACHY (Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Chartography) была успешно выведена на орбиту 1 марта 2002 года на борту европейского спутника ENVISAT. С помощью этой аппаратуры будут проводиться как измерения рассеянного солнечного излучения в надирной геометрии и на касательных трассах, так и измерения пропускания атмосферы на наклонных трассах при восходах и заходах Солнца. Измерения будут проводиться в спектральном интервале 240–2380 нм с достаточно высоким спектральным разрешением (0,24–1,48 нм).

Максимальное использование информации о параметрах атмосферы, содержащейся в измеренных спектрах, достигается путем использования при решении обратной задачи широких спектральных интервалов с большим количеством спектральных точек. При обработке измерений рассеянного солнечного излучения на касательных трассах время расчета становится неприемлемо большим в случае использования сферической модели как для расчета излучения, так и для весовых функций.

В данной работе рассматривается возможность использования приближенной модели для расчета весовых функций. Проведенные исследования показывают, что приближенные весовые функции консистентны со сферической моделью и могут быть использованы для интерпретации измерений рассеянного солнечного излучения на касательных трассах. При использовании приближенной модели для расчета как весовых функций, так и модельного спектра, время, затрачиваемое на обработку измерений, может быть существенно уменьшено. При восстановлении вертикального распределения озона с использованием абсолютных спектров это приводит к переоценке его тропосферного содержания. При использовании же дифференциальных спектров приемлемая точность обращения достигается во всем высотном диапазоне, представляющем интерес для восстановления вертикального распределения озона.

Мезомасштабная турбулентность атмосферы над морской поверхностью по информации сканирующего СВЧ-радиометра и РЛСБО ИСЗ «Океан»

Бухаров М.В., Геохланян Т.Х. (bmikhail@planet.iitp.ru)

НИЦ «Планета», Б. Предтеченский пер. 7, 123242 Москва, Россия

Изучение свойств мезомасштабной турбулентности атмосферы над морской поверхностью является одной из важных метеорологических задач, решение которой возможно на основе использования радиофизической информации с отечественных океанографических ИСЗ серии «Океан». Установленные на них сканирующий СВЧ-радиометр 8-ми миллиметрового диапазона (РМ-08) и радиолокационная станция бокового обзора (РЛСБО) 3-х сантиметрового диапазона позволили получить синхронные и

пространственно совмещенные снимки уходящего излучения атмосферы и состояния морской поверхности. В результате проведенных усовершенствований методики тематической обработки информации РМ-08 и РЛСБО стало возможно получать количественные данные о таких интегральных (по высоте) параметрах атмосферы, как содержание водяного пара, водность облаков и интенсивность осадков, а также о пространственном распределении значений модуля максимальной мгновенной скорости приводного ветра.

Спецификой районов с мезомасштабной турбулентной атмосферой является то, что ветер в них обладает большой порывистостью, а его максимальная мгновенная скорость может достигать опасных значений (20 м/с и более) и существенно (на 10 м/с и более) превышать значения регистрируемой средней скорости. Учитывая важность такой информации для совершенствования методов прогноза опасных явлений на морях, исследованы метеорологические условия, влажностные параметры атмосферы и закономерности пространственного распределения максимальных скоростей ветра в районах с турбулентностью, возникающей под влиянием деформации и трения воздушного потока при обтекании берегового рельефа. Изучение турбулентности над акваторией Черного моря проведено по результатам тематической обработки снимков РМ-08 и РЛСБО ИСЗ «Океан № 7», проведенной по усовершенствованной методике.

В результате проделанной работы для районов с выявленной мезомасштабной атмосферной турбулентностью установлены: вид функции распределения модуля максимальной мгновенной скорости приводного ветра, ее связь со средней скоростью, специфика пространственного распределения скорости порывистого ветра, а также оценки значений интегрального содержания водяного пара и водности облаков в атмосфере над морской поверхностью.

Кроме того, совместный анализ тематически обработанных данных РМ-08 и РЛСБО показал, что в районах с порывистым ветром, изменяющимся в широком диапазоне (от 5 до 20 м/с и более), погрешность восстановления параметров атмосферы оказывается пренебрежимо мала по сравнению с влиянием жидко-капельной компоненты облаков.

Потенциальные точности оценки влаго– и водозапаса облачной атмосферы по данным микроволнового радиометра МТВ3А российского спутника "Метеор–3М"

Заболотских Е.В. (Liza.Zabolotskikh@niersc.spb.ru), Бобылев Л.П.

*НФ «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им.Нансена»,
Б. Монетная 26/28, 197101 Санкт-Петербург, Россия*

Тимофеев Ю.М. (tim@troll.phys.spbu.ru)

*Санкт-Петербургский государственный университет, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Петродворец,
Россия*

Митник Л.М. (mitnik@online.vladivostok.ru)

Тихоокеанский океанологический институт ДО РАН, Балтийская 4, 3690041 Владивосток, Россия

Успенский А.Б. (uspensky@planet.iitp.ru)

*Научно-исследовательский Центр Космической Гидрометеорологии «Планета», Предтеченский пер. 7, 123242
Москва, Россия*

О.М. Йоханнессен (ola.johannessen@nrsc.no)

Nansen Environmental and Remote Sensing Center, Edvard Griegsvei 3a, N-5059, Bergen, Norway

Многофункциональный прибор МТВ3А предназначен для применения в качестве инструментария при решении фундаментальных проблем системы океан–атмосфера, а также для глобального мониторинга в интересах Росгидромета. В частности, прибор обеспечивает

зондирование системы океан–атмосфера, в том числе и в линиях поглощения водяного пара, что позволяет определять интегральную влажность (влагозапас) атмосферы, водозапас облаков и интенсивность осадков. При наличии эффективных алгоритмов восстановления интересующих параметров данный радиометр будет служить российским источником необходимой информации для различных климатических и метеорологических центров. В данной работе на основании моделирования измерений радиометра оцениваются потенциальные погрешности оценки влагозапаса атмосферы Q и водозапаса облаков W над поверхностью океана при помощи прибора МТВЗА.

Оценка погрешностей восстановления искомых параметров производится путем применения нейронно–сетевых алгоритмов к массивам модельных значений радиоярких температур $Tя$. Соответствующие расчеты выполнены с использованием опубликованных в последние годы моделей спектров поглощения водяного пара и кислорода и модели коэффициента излучения океана. Расчеты производились для условий плоскостной нерассеивающей атмосферы. В качестве контактных измерений, использованных для расчета массивов радиоярких температур как для настройки нейронных сетей, так и для валидации полученных алгоритмов, были использованы данные радиозондирования и одновременные измерения скорости приводного ветра и температуры поверхности океана.

Для разработки алгоритмов оценки влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков была использована однопараметрическая нейронная сеть (НС) с одним скрытым уровнем и 7 входными параметрами. В качестве входных параметров были использованы следующие 7 каналов МТВЗА: $Tя^B(18,7 \text{ ГГц})$, $Tя^Г(18,7 \text{ ГГц})$, $Tя^B(23,8 \text{ ГГц})$, $Tя^B(31,5 \text{ ГГц})$, $Tя^Г(31,5 \text{ ГГц})$, $Tя^B(36,7 \text{ ГГц})$, $Tя^Г(36,7 \text{ ГГц})$.

НС алгоритмы были настроены и протестированы на двух глобальных массивах данных: (1) отвечающих условию $\Delta T_{36} > 15 \text{ К}$ ($\Delta T_{36} = Tя^B(36,7 \text{ ГГц}) - Tя^Г(36,7 \text{ ГГц})$), т.е. данных, включающих неблагоприятные погодные условия, характеризующиеся мощной облачностью, и (2) отвечающих условию $\Delta T_{36} > 50 \text{ К}$, т.е. условно безоблачных данных.

Результирующие погрешности оценки параметров при отсутствии шумов радиометра составили для всех данных массива (1): $\sigma_Q = 0,61 \text{ кг/м}^2$ при оптимальном числе нейронов внутри скрытого уровня $n_{opt} = 4$; $\sigma_W = 0,025 \text{ кг/м}^2$ при $n_{opt} = 6$; а для условно безоблачных данных массива (2): $\sigma_Q = 0,41 \text{ кг/м}^2$ при оптимальном числе нейронов внутри скрытого уровня $n_{opt} = 5$; $\sigma_W = 0,023 \text{ кг/м}^2$ при $n_{opt} = 6$.

Оценка погрешностей, полученных при добавлении шумов радиометра к расчетным значениям радиоярких температур, позволяет сделать вывод, что использование измерений радиометром МТВЗА уходящего излучения системы атмосфера–океан дает возможность восстанавливать водозапас облаков с погрешностью, не превышающей погрешность оценки этого параметра по данным радиометра Special Sensor Microwave Imager (SSM/I) с американского спутника DMSP, т.е. $\sigma_W \approx 0,030 \text{ кг/м}^2$. Потенциальная погрешность оценки влагозапаса атмосферы оказалась на 50% ниже, чем при использовании данных SSM/I: $\sigma_Q = 0,75 \text{ кг/м}^2$.

Анализ точности спутниковых измерений общего содержания двуокиси азота (аппаратура GOME)

Ионов Д.В. (ionov@troll.phys.spbu.ru), Тимофеев Ю.М.

Санкт-Петербургский государственный университет; Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Петродворец, Россия

Еланский Н.Ф., Елохов А.С., Груздев А.Н., Постыляков О.В.

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

Ролдугин В.К. (roldugin@pgi.kolasc.net.ru), Косолапенко В.И., Белоглазов М.И.

Полярный геофизический институт КНЦ РАН, Ферсмана 14, 184209 Апатиты Мурманской обл., Россия

Розанов В.В.

Institute of Remote Sensing, University of Bremen, Germany

Спутниковый прибор GOME был запущен на борту европейского спутника ERS-2 в апреле 1995 г. Основной целью эксперимента GOME (Global Ozone Monitoring Experiment) является мониторинг глобальных распределений общего содержания озона и NO₂. Данные GOME, основанные на интерпретации надирных измерений уходящего отраженного и рассеянного солнечного излучения в видимой части спектра, характеризуются слабым поглощением NO₂, что обуславливает в целом невысокую точность определения содержания этой компоненты.

Настоящее исследование посвящено валидации данных оперативных измерений GOME общего содержания NO₂ на основе сопоставлений с одновременными измерениями на двух российских наземных станциях – Звенигород и Ловозеро. Проанализированы возможные причины наблюдаемых расхождений между данными спутниковых и наземных измерений – пространственная и временная несогласованность сопоставляемых данных, погрешности измерений, вынос воздушных масс с повышенным содержанием NO₂ в нижней тропосфере со стороны Москвы, особенности алгоритма оперативной интерпретации измерений GOME.

Сопоставление данных GOME об общем содержании NO₂ с результатами наземных измерений в районе Звенигорода в 1996 г. продемонстрировало плохое согласие данных спутниковых и наземных измерений – среднеквадратичное расхождение (σ) составляет около 70%. Аналогичное сопоставление с использованием данных GOME новой версии интерпретации (версия 2.7) для измерений в 1997–1998 г. также характеризуется большими расхождениями – $\sigma = 57\%$, а коэффициент корреляции $R = 0,24 \pm 0,05$. Интерпретация данных спектральных измерений GOME на основе альтернативного алгоритма, разработанного в университете Бремена (методика FURM), не вносит существенных изменений в эти оценки.

В то же время, данные GOME об общем содержании NO₂ в районе Ловозера весной 2000–02 гг. характеризуются сравнительно хорошим согласием с результатами одновременных наземных измерений – $\sigma = 28\%$, $R = 0,83 \pm 0,03$. Поскольку данный район измерений лежит в стороне от возможных источников антропогенных загрязнений, их вклад здесь, по-видимому, незначителен. В целом, при валидации данных GOME об общем содержании NO₂ следует отдавать предпочтение наземным измерениям на станциях в удаленных районах, таких как Кисловодск и Ловозеро.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (код проекта 00–05–65224) и INTAS (код проекта INTAS–IESA–99–1511).

Глобальные пространственно-временные вариации общего содержания двуокси азота по данным дистанционного зондирования атмосферы и результатам трехмерного моделирования

Ионов Д.В. (ionov@troll.phys.spbu.ru), Тимофеев Ю.М.

Санкт-Петербургский государственный университет, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Петродворец, Россия

Егорова Т.А.

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

Розанов Е.В.

Physical-Meteorological Observatory and World Radiation Center, Institute for Climate Research, Davos, Switzerland

В последние десятилетия был достигнут существенный прогресс в понимании особенностей пространственно-временного распределения малых газовых составляющих (МГС) атмосферы. Этому способствовало развитие глобальных спутниковых и наземных систем наблюдений, а также существенный прорыв в трехмерном моделировании химии и транспорта в атмосфере. Использование в моделях реальных метеорологических полей, поставляемых различными ассимиляционными системами, позволяет воспроизводить распределение различных МГС с высоким пространственным и временным разрешением, что открывает возможность детального сравнения результатов моделирования с данными прямых и косвенных измерений газового состава атмосферы. Такое сравнение дает возможность оценить степень нашего понимания атмосферных процессов и определить, какие компоненты модели должны быть усовершенствованы в первую очередь. С другой стороны, подобные сопоставления очень важны для анализа и интерпретации данных дистанционных измерений.

Основная информация о характеристиках газового состава атмосферы поступает в настоящее время от различных систем наблюдений – наземной, самолетной, аэростатной и спутниковой. Безусловно, спутниковая система мониторинга характеристик атмосферы является важнейшей составляющей глобальной системы наблюдений. В частности, с 1995 года на борту европейского спутника ERS-2 функционирует прибор GOME, осуществляющий глобальный мониторинг общих содержаний (ОС) озона и NO₂. Важно отметить, что получение оперативной информации о глобальном пространственном распределении двуокси азота в атмосфере стало возможным лишь в рамках эксперимента GOME. В большинстве предшествующих GOME спутниковых экспериментах по мониторингу NO₂ использовалась наклонная геометрия измерений, позволяющая восстанавливать вертикальное распределение NO₂ в стратосфере с ограниченной регулярностью и горизонтальным пространственным разрешением. Интерпретация надирных измерений уходящего отраженного и рассеянного солнечного излучения аппаратурой GOME в видимой части спектра позволяет осуществлять глобальное картирование ОС NO₂ с горизонтальным разрешением ~ 300 км.

В данной работе мы сравниваем глобальные распределения общего содержания NO₂, полученные на основе данных измерений спутникового прибора GOME и рассчитанные с помощью трехмерной транспортно-фотохимической модели МЕЗОН. Для сравнительного анализа измеренных и рассчитанных по модели пространственных распределений ОС озона и NO₂ были рассмотрены глобальные поля среднемесячных значений ОС NO₂ для четырех месяцев, соответствующих четырем сезонам года – январь, апрель, июль и октябрь. Спутниковые данные, необходимые для сопоставления с моделью, были представлены в виде глобальных полей, полученных авторами в результате осреднения всех измерений GOME, выполненных в течение месяца. Для сопоставления аналогичные поля были рассчитаны с помощью модели МЕЗОН для времени суток местного полдня, которому соответствуют измерения GOME. Результаты сопоставлений представлены в виде карт

относительной разности GOME–MEZON, среднего, среднеквадратичного расхождений и коэффициентов корреляции.

В целом, результаты моделирования ОС NO₂ существенно отличаются от данных GOME – среднеквадратичное расхождение составляет от 50 до 200%. Максимальные отличия между данными спутниковых измерений и моделью наблюдаются в районах с повышенным антропогенным загрязнением тропосферы и могут быть связаны с занижением тропосферной составляющей общего содержания NO₂ в данных GOME по сравнению с моделью. Рассчитанные среднемесячные поля содержания NO₂ в стратосфере согласуются с данными измерений GOME в пределах удвоенной средней погрешности измерений (15%); при этом данные GOME несколько превышают результаты расчета в зонах антропогенных источников NO₂. Вместе с тем, временной ход среднемесячных значений ОС NO₂, рассчитанных по данным GOME, хорошо согласуется с данными наземных наблюдений на ряде станций – Звенигород (Россия), Кируна (Швеция) и Jungfraujoeh (Швейцария).

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (код проекта 00–05–65224) и INTAS (код проекта INTAS–IESA–99–1511).

Имитационное моделирование оптических параметров атмосферы в задачах фильтрации аэрокосмической информации

Кобякова Н.В., Смоктий О.И. (soi@aspid.nw.ru)

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, 14 линия 39, 199178 Санкт-Петербург, Россия

Сформулирован многофакторный оптимизационный подход к построению спектральных полидисперсных моделей пространственного распределения оптических параметров аэрозольной атмосферы. В качестве основы многофакторной оптимизации взята минимизация невязок измеряемой спектральной прозрачности атмосферы и результатов соответствующего имитационного моделирования, выполняемого с помощью обобщения классической теории Ми для двухслойных сферических частиц. Дополнительная адаптация имитационной модели к реальным условиям земной атмосферы проводится в ее нижнем пограничном слое. Для этого используются аналитические и полуаналитические параметризации, связывающие метеорологические и оптико-физические поля в данном слое. Включение этих параметризаций в общую схему расчетов по модифицированной теории Ми достигается путем использования обобщения основного уравнения Кошмидера, связывающего метеорологическую дальность видимости и коэффициент ослабления атмосферы на уровне ее нижней границы во всем интервале длин волн видимой области спектра. Представлены величины оптических характеристик аэрозольной атмосферы, полученные с применением процедур оптимизации и спектрального замыкания.

Исследования финансируются Российским Фондом Фундаментальных Исследований (грант № 01–01–00328).

Использование PCA изображений со спутников JERS–1 и ERS–2 для картирования лесной поверхности

Максимов С.В. (sergey.maximov@niersc.spb.ru), Бобылев Л.П.

*НФ «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им.Нансена»,
Б. Монетная 26/28, 197101 Санкт-Петербург, Россия*

Майлс В.В., О.М. Йоханнессен (ola.johannessen@nrsc.no)

Nansen Environmental and Remote Sensing Center, Edvard Griegsvei 3a, N-5059, Bergen, Norway

Бореальные леса России играют важную роль в экономике и экологии как страны, так и мира в целом. Труднодоступность и большая территория затрудняют их исследование. Задачи картирования лесных территорий России могли бы быть решены путем

использования данных спутникового дистанционного зондирования и, в частности, радиолокационных снимков.

Тестовый полигон расположен в юго-западной части Ленинградской области на границе с Эстонией и включает в себя Кургальский полуостров. На территории полигона произрастают хвойные сосновые, еловые и смешанные леса, а также лиственные: береза, осина и ольха. Данные наземных наблюдений представлены двумя цифровыми картами. Карта масштаба 1:200000, описывающая пространственное распределение основных категорий подстилающей поверхности, таких как водные объекты, урбанизированные территории, непокрытые лесом территории, болота и леса, использовалась на этапе классификации РСА–изображений с целью выделения территорий, покрытых лесом. На этапе классификации фрагментов РСА–изображений, представляющих лесные территории, использовалась карта масштаба 1:25000, описывающая пространственное распределение различных типов лесов. Данная карта была сформирована на основе дешифрирования аэрофотоснимков и результатов наземных экспедиций на территории тестового полигона.

В данной работе были использованы РСА–изображения со спутников ERS–2 и JERS–1. Вначале была произведена абсолютная калибровка РСА–изображений, полученных со спутника ERS–2. Затем была выполнена пространственная привязка изображений к единой системе координат. Одновременно с привязкой производилось прореживание изображений, что увеличило размер пикселя с 12,5 метров до 25 метров. На последнем этапе предобработки, для вычисления текстурных параметров, число уровней серого в изображениях было уменьшено до 16.

Проведен текстурный анализ откалиброванных РСА изображений с использованием Матрицы Совпадений Уровней Серого. Отобраны четыре текстурных параметра, показавших наименьший уровень корреляции. Вычислены карты выбранных текстурных параметров для откалиброванных РСА изображений.

С помощью подспутниковых данных для каждого исследуемого класса поверхности выбраны однородные области. Проведено обучение классификатора с использованием выбранных областей. Классифицированы карты выбранных текстурных параметров и интенсивности обратного рассеяния для РСА изображений.

Произведена оценка точности классификации путем сравнения подспутниковых данных с результатами классификации.

Определение параметров атмосферы и подстилающей поверхности по данным спутниковых измерений в СВЧ диапазоне длин волн

Образцов С.П. (Sobraztsov@rbcmil.ru), Щукин Г.Г.

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

Рассматриваются возможности и алгоритмы интерпретации данных наблюдений СВЧ радиометров МГВЗА «Метеор-3М» и AMSU NOAA-15, 16. Приведены результаты теоретических оценок точности восстановления и примеры обработки реальных данных AMSU NOAA-15, 16 для Ленинградской области.

Численное моделирование дистанционного температурно-влажностного зондирования атмосферы регионального покрытия по данным измерений спутникового микроволнового зондировщика МТВЗА

Пегасов В.М., Успенский А.Б. (uspensky@planet.iitp.ru)
НИЦ "Планета" Б. Предтеченский 7, 123242 Москва, Россия

Васильев А.В.

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

Выполнен сравнительный анализ эффективности различных регрессионных алгоритмов, а также итерационных процедур численного решения обратной задачи при восстановлении вертикальных профилей температуры $T(p)$, влажности $q(p)$ атмосферы по данным измерений микроволнового зондировщика МТВЗА, установленного на КА "Метеор-ЗМ" № 1. В экспериментах использовались "синтетические" измерения МТВЗА, построенные с помощью разработанной в СПбГУ радиационной модели для представительной выборки профилей $\{T_j(p), q_j(p)\}$. При обращении данных МТВЗА искомые профили $T(p)$, $q(p)$ аппроксимировались малопараметрическими разложениями по эмпирическим ортогональным функциям. Из известных регрессионных алгоритмов испытаны регрессия на главные компоненты, гребневая регрессия, "сжимающие" оценки. Сопоставлены следующие алгоритмы построения решения обратной задачи: – наилучшая линейная оценка, оценка регуляризованного метода наименьших квадратов (РМНК) с выбором параметра регуляризации согласно принципу невязки, итерационные алгоритмы Гаусса-Ньютона и Марквардта-Левенберга. Эксперименты по "обращению" моделированных данных МТВЗА проводились на материале двух независимых выборок с различным диапазоном изменчивости излучательных способностей – над сушей и над морем. Кроме того, рассмотрены варианты независимого и совместного восстановления профилей $T(p)$, $q(p)$. По результатам экспериментов в качестве прототипа оперативной схемы "обращения" данных МТВЗА выбрана следующая двухэтапная процедура: построение регрессионной оценки с использованием метода главных компонент; построение оценки РМНК с использованием регрессионной оценки в качестве начального приближения. Второй этап выполняется только при условии превышения требуемого уровня среднего квадрата невязки между измеренными и расчетными радиояркими температурами. Получена и проанализирована статистика ошибок спутниковых зондирований $T(p)$, $q(p)$ в зависимости от уровня инструментального шума, параметров алгоритмов, типа подстилающей поверхности.

Предельные точности затменного методов определения характеристик газового и аэрозольного состава атмосферы из космоса

Поляков А.В. (Alexandr@ldm.phys.lgu.spb.su), Тимофеев Ю.М.

Санкт-Петербургский государственный университет, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Петродворец, Россия

На основе численных экспериментов по замкнутой схеме анализируются предельные точности определения вертикальных профилей содержания озона, двуокси азота и спектральных коэффициентов аэрозольного ослабления (СКАО) с помощью спутниковых измерений прозрачности атмосферы на касательных трассах спектрометром SAGE-III, запущенным 10 декабря 2001 года на МИСЗ «Метеор-ЗМ». При этом рассмотрены достаточно сложные условия пост-вулканического «аэрозольного возмущения» стратосферы и различные методики параметризации спектрального хода коэффициента аэрозольного ослабления.

Потенциальные точности восстановления содержания озона в области 12–75 км с помощью аппаратуры SAGE-III очень высоки. В большинстве случаев и в большей части

указанного выше высотного диапазона погрешности восстановления не превышают 1%. Для ряда реализаций состояния атмосферы эти погрешности могут возрастать в 2–4 раза. Определенное влияние на точность восстановления озона оказывает методика параметризации спектрального хода аэрозольного ослабления. Использование оптимальных параметризаций, основанных на разложении спектрального хода коэффициента аэрозольного ослабления по эмпирическому ортогональному базису, в большинстве случаев позволяет повысить точность в 1,5–2 раза по сравнению с традиционной методикой Люмпе.

Преимущества использования оптимальных параметризаций спектрального хода аэрозольного ослабления очень существенны при восстановлении вертикального профиля содержания двуокиси азота. Погрешности восстановления при использовании параметризации Люмпе (считающейся в настоящее время одной из наиболее точных) могут быть в 5–10 раз более высокими для рассмотренных в данном исследовании состояний атмосферы.

Причиной отмеченных выше особенностей при восстановлении характеристик газового состава атмосферы является взаимозависимость погрешностей восстановления содержания озона и двуокиси азота и погрешностей восстановления спектрального хода аэрозольного ослабления. В тех случаях, когда значительны погрешности восстановления аэрозольного ослабления с использованием параметризации Люмпе в спектральных областях поглощения озона и двуокиси азота, значительно возрастают погрешности восстановления этих газов.

Погрешности определения СКАО также в существенной степени зависят от используемой методики его аппроксимации. Минимальные погрешности восстановления СКАО реализуются при использовании оптимальной методики параметризации аэрозольного ослабления. В среднем оптимальные линейные параметризации (4 или 5 параметров) дают минимальные погрешности восстановления высотных и спектральных зависимостей аэрозольного ослабления.

Преимущества оптимальных параметризаций (линейной и логарифмической) особенно значительны при восстановлении коэффициентов аэрозольного ослабления в коротковолновой области спектра, позволяя с высокой точностью осуществлять экстраполяцию значений спектрального коэффициента аэрозольного ослабления из длинноволновой области вплоть до длины волны 290 нм – последнего канала измерений аппаратуры SAGE-III. Здесь погрешности восстановления при использовании оптимальных параметризаций могут быть меньше соответствующих погрешностей параметризации Люмпе почти на порядок (для отдельных восстановлений). Это позволяет надеяться на высокую точность решения обратной задачи следующего этапа – восстановления вертикального хода микрофизических характеристик аэрозоля в стратосфере.

Таким образом, наиболее перспективной для использования при интерпретации измерений прозрачности с помощью аппаратуры SAGE-III является оптимальная линейная параметризация. Заметим, что эта параметризация вследствие своей простоты – линейной формы – не вызывает сложностей при решении комплексной обратной задачи – одновременного восстановления профилей содержания озона и двуокиси азота и спектрального коэффициента аэрозольного ослабления.

Приведенный анализ максимальной потенциальной точности восстановления различных атмосферных параметров устанавливает тот предел погрешностей восстановления, к которому можно стремиться при разработке более полного алгоритма обработки реальных данных спутникового эксперимента.

Работа была выполнена при поддержке исследований в рамках контракта NAG8–11248 NASA Goddard Space Flight Center, гранта РФФИ 00–05–65224, 01–05–0 64944 и гранта “Университеты России” 015.01.01.85, N 992799

Опыт регионального температурно–влажностного зондирования атмосферы по данным ИСЗ NOAA

Соловьев В.И., Успенский А.Б. (uspensky@planet.iitp.ru), Кухарский А.В.

Научно-исследовательский Центр Космической Гидрометеорологии «Планета», Б. Предтеченский 7, 123242 Москва, Россия

Представлено описание системы получения данных температурно-влажностного зондирования атмосферы (ТВЗА) регионального покрытия на основе обработки измерений усовершенствованной аппаратуры зондирования ATOVS ИСЗ NOAA-15,-16. "Обращение" спутниковых измерений и получение данных ТВЗА включает детектирование облачности, подготовку начального приближения, восстановление геофизических параметров, а также контроль и редактирование выходных результатов. Обсуждаются методы и алгоритмы выполнения перечисленных процедур, а также их практическая реализация в системе обработки, созданной на основе лицензионного пакета IAPP (International ATOVS Processing Package – разработан в Университете шт. Висконсин США для эксплуатации на рабочих станциях типа HP, SUN и др. под UNIX). Модификации подверглись процедуры подготовки начального приближения, итерационный алгоритм численного решения обратной задачи. Предложена новая процедура редактирования выходных результатов ТВЗА, использующая данные численного краткосрочного прогноза погоды (с заблаговременностью 12 час.). Помимо методических доработок выполнена адаптация программного пакета для работы под WINDOWS. Функционирование системы обработки предусматривает оперативное использование БД гидрометеороинформации на супер ЭВМ CRAY Гидрометцентра РФ. Обсуждаются результаты испытания и опытной эксплуатации системы в НИЦ "Планета" за период с апреля 2001 г. Приведены данные сопоставления спутниковых и аэрологических зондирований. Установлено, что использование созданной системы обработки позволяет получать спутниковые оценки профилей температуры $T(p)$ и влажности $Q(p)$ для Европейского региона (около 4000 зондирований с пространственной дискретностью 20-40 км для одного сеанса) с погрешностью не больше 1,7 град. (СКО, усредненная по слою 10–1000 гПа) и 20% (относительная СКО, усредненная по слою 300–1000 гПа) соответственно.

Определение метеорологических параметров системы "океан-атмосфера" вариационным методом по спутниковым измерениям в ИК-области спектра

Чавро А.И. (chavro@inm.ras.ru), Уваров Н.В.

Институт вычислительной математики РАН, Москва (ИВМ РАН), Губкина 8, 119991 Москва, Россия

Показано, что для определения вертикальных профилей температуры и влажности атмосферы, температуры поверхности океана и скорости приводного ветра по спутниковым измерениям в ИК-области спектра могут быть успешно использованы вариационные методы решения обратных задач.

При решении обратной задачи вертикальные профили температуры и поглощающих субстанций параметризуются в виде разложения по естественным ортогональным функциям. Излучательная способность водной поверхности при фиксированной длине волны и угле визирования со спутника представляется как функция скорости приводного ветра. Такая параметризация позволила нам существенно сократить размерность обратной задачи. Обратная задача решалась в ИК области спектра (8–17 мкм) методом вариационного усвоения данных измерений. Погрешности измерений моделировались программой случайных чисел "URAND" и составляли $\sim 0,1$ К по радиационной температуре.

Проведены численные эксперименты по проверке предложенного метода. Показано, что точность восстановления вертикальных профилей температуры составляет $\sim 1,3$ К, а скорости приводного ветра $\sim 1,5$ м/сек.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 01–05–64571).

Совместный анализ данных радиоальтиметрических измерений со спутников ERS-1 и ERS-2 при исследовании изменения высоты Гренландского ледникового щита

Хворостовский К.С. (Kirill.Khvorostovsky@niersc.spb.ru), Бобылев Л.П.
*НФ «Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им.Нансена»,
Б. Монетная 26/28, 197101 Санкт-Петербург, Россия*

О.М. Йоханнессен (ola.johannessen@nrsc.no)
Nansen Environmental and Remote Sensing Center, Edvard Griegsvei 3a, N-5059, Bergen, Norway

В докладе представлены результаты совместного анализа измерений радиоальтиметров спутников ERS–1 и ERS–2 при исследовании изменения высоты Гренландского ледникового щита. Изменение высоты определяется из разностей измерений в точках пересечения орбит как одного и того же, так и разных спутников. При этом количество точек пересечения орбит разных спутников составляет приблизительно половину всех точек пересечения и, поэтому, возможные систематические ошибки, возникающие при сравнении измерений разных спутников, могут существенно искажать результат. Для проведения данного исследования были рассчитаны пространственное и временное распределения как отдельно для каждого спутника, когда рассматриваемые систематические ошибки не влияют на результат, так и для всего рассматриваемого периода измерений с использованием всех данных. При проведении расчетов были учтены орбитальные, атмосферные, приливные, инструментальные поправки, поправки вызванные наклоном и неровностью поверхности ледника, а также проникновением импульса, посылаемого альтиметром, в снег. Для получения пространственного распределения результаты были рассчитаны для ячеек $0,5^\circ$ широты и 1° долготы. Скорость изменения высоты определялась путем нахождения угла наклона линии регрессии разниц высот в точках пересечения орбит на интервалы времени между измерениями. При этом из значений измеренной высоты и времени, относящихся к нисходящей орбите, вычитались аналогичные значения, относящиеся к восходящей орбите.

Отдельно для каждого спутника пространственно-осредненная скорость изменения высоты ледника составила $-2,2 \pm 0,5$ и $10,7 \pm 0,4$ см/год по данным измерений со спутников ERS–1 за период с 1992 по 1996 и ERS–2 за период с 1995 по 1999 годы соответственно. Исходя из этих результатов, была определена средняя пространственно–осредненная скорость за весь период наблюдений, которая составила $4,1 \pm 0,3$ см/год. В то же время скорость изменения, полученная по разностям измерений в точках пересечения орбит разных спутников, а также при использовании всех трех групп точек пересечения оказалась значительно завышенной и составила $10,8 \pm 0,3$ и $9,2 \pm 0,3$ см/год соответственно. Сравнение полученных результатов показало, что превышение в среднем по Гренландии равно $-6,2 \pm 0,3$ см/год, причем его распределение пространственно неравномерно, и наиболее завышенные результаты были получены для прибрежных районов с небольшой высотой и большими углами наклона поверхности ледника. Для определения поправки использовались все имеющиеся точки пересечения орбит разных спутников, в которых измерение со спутника ERS–1 было произведено до измерения со спутника ERS-2. Эта группа составляет 96% всех используемых точек пересечения орбит. При этом из высоты, полученной раньше, то есть при измерении со спутника ERS–1, вычиталась высота полученная позже при измерении со спутника ERS–2. Это позволило получить для каждой ячейки скорости изменения высоты, независимые от систематической ошибки, возникающей при сравнении измерений с разных спутников. Разница между исправленным и неисправленным результатами в среднем для всей Гренландии составила $-6,7 \pm 0,3$ см/год, то есть практически совпала с погрешностью, полученной при сравнении со средним изменением,

рассчитанным при рассмотрении каждого спутника отдельно. Кроме того, точка пересечения линии регрессии, полученной этим способом, с осью изменения высоты позволила найти абсолютное значение погрешности, которое также можно учитывать при сравнении измерений разных спутников.

В результате при использовании в расчетах всех данных и в случае учета погрешности в скорости изменения высоты ее пространственно–осредненное значение составляет $4,6 \pm 0,3$ см/год, а в случае учета абсолютной погрешности – $4,1 \pm 0,4$ см/год. Схожесть полученных результатов при анализе различных групп данных и различных методов их расчета, говорит о достоверности полученных значений скорости изменения высоты Гренландского ледникового щита и возможности применять изложенные подходы в данного рода исследованиях.

Интерпретация комплексных данных спутниковой и наземной СВЧ радиометрии, данных МРЛ, аэрологии и метеосети

Образцов С.П. (Sobraztsov@rbcmail.ru), Щукин Г.Г.

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

Рассматривается возможность использования различной наземной информации для валидации спутниковых СВЧ радиометрических данных на примере совместной обработки данных AMSU NOAA-15,16 и данных наземных наблюдений, полученных в рамках проведенного в 2000–2001 гг. международного эксперимента Baltex.

Многоволновое лазерное зондирование атмосферы

Иванов А.П. (ivanovap@dragon.bas-net.by), Чайковский А.П.

Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, пр. Ф. Скорины 70, 220072 Минск, Белоруссия

В настоящее время лидары становятся одним из основных компонентов создаваемой международным сообществом региональных сетей дистанционного мониторинга атмосферы, которые, несомненно, станут основой глобальной системы мониторинга окружающей среды. Технической основой для перехода лидарных систем на уровень, обеспечивающий регулярные измерения, явилось развитие лазерных систем, которые позволяют создать многоволновые излучатели, работающие в широком спектральном диапазоне, технологичные в производстве и удобные в эксплуатации.

В работе обобщаются результаты разработки методов многоволнового лазерного зондирования для исследования спектров оптических характеристик и микроструктуры аэрозоля. Излагаются математическая формулировка обратной задачи восстановления параметров аэрозоля по данным многоволнового зондирования и алгоритмы ее решения. Рассмотрены методики увеличения информативности дистанционных измерений посредством проведения комплексных лидарных и дополнительных пассивных оптических измерений.

Приведены характеристики многоволновых лидарных систем, используемых для мониторинга тропосферного и стратосферного аэрозольных слоев. Излагаются требования к лазерным излучателям лидарных систем.

Дается обзор результатов натурных исследований микроструктуры тропосферного аэрозоля на основе лидарного зондирования на 2–7 длинах волн в различных геофизических регионах. Рассматривается динамика стратосферного аэрозольного слоя после извержения вулкана Пинатубо в 1991 г. по результатам двухволновых поляризационных лидарных измерений.

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)

Measuring cumulus geometry from space: Multi-angle approach

Kassianov Evgueni (Evgueni.Kassianov@pnl.gov), Thomas Ackerman, Roger Marchand,

Mikhail Ovtchinnikov

Pacific Northwest National Laboratory, 902 Battelle Boulevard, P.O. Box 999, Richland, WA 99352, USA

Currently, most broken cloud retrieval schemes rely on *multi-spectral* observations from near-vertically pointing remote sensors. However, accurate and robust multi-spectral methods for extracting geometrical characteristics of broken clouds have yet to be fully developed. The multi-angle Imaging SpectroRadiometer (MISR), recently launched on the National Aeronautics and Space Administration (NASA) Terra platform, provides measurements of reflected solar radiation at nine different viewing angles. The paper introduces a new method for inferring both the horizontal and vertical cloud size distributions from *multi-angle* MISR observations and assessed this method using unique MISR dataset and independent ground-based observations at the Atmospheric Radiation Measurements Tropical Western Pacific site.

Вариации содержания водяного пара и углекислого газа в толще атмосферы

Арефьев В.Н., Вишератин К.Н., Каменоградский Н.Е., Кашин Ф.В., Устинов В.П.
(las@typhoon.obninsk.org)

Институт экспериментальной метеорологии НПО "Тайфун", Ленина 82, 249038 Обнинск Калужской обл., Россия

Семенов В.К. (svk@it.kg), Синяков В.П., Сорокина Л.И.

Киргизский государственный национальный университет, ул. Манаса 101, 720033 Бишкек, Республика Киргизстан

Проанализированы результаты долговременных (1980–2001 годы) непрерывных измерений общего содержания водяного пара (H_2O) и средней по высоте относительной концентрации углекислого газа (CO_2) в толще атмосферы на станции Иссык-Куль ($42,4^\circ N$, $77^\circ E$). По среднемесячным величинам измеряемых характеристик определены амплитуды и фазы сезонных вариаций, межгодовые изменения (от года к году) и средний многолетний тренд (в линейном приближении) содержания H_2O и концентрации CO_2 в атмосфере.

Минимальные содержания H_2O – $0,3$ – $0,6$ г/см² приходятся на зиму (декабрь–январь), а максимальные – $2,0$ – $2,9$ г/см² – на лето (июль). Средняя амплитуда сезонных вариаций его содержания за весь период наблюдений равна 2 г/см². Содержание H_2O определяется: зимой – испарением воды с поверхности озера, летом – переносом в район наблюдения обогащенных влагой теплых воздушных масс. За весь период измерений среднегодовое содержание H_2O в атмосфере возросло на $\sim 0,18$ г/см² ($\sim 15\%$) со средней скоростью около $0,01$ г/см² ($0,68\%$) в год. Изменения содержания H_2O от года к году отличаются от линейного тренда. С середины 1980 г. и по сентябрь 1985 г. его содержание уменьшилось с $1,60$ до $1,05$ г/см² со скоростью – $0,1$ г/см² ($-6,7\%$) в год. С октября 1985 г. по 1990 г. включительно содержание H_2O возросло с $1,05$ до $1,35$ г/см² со скоростью $0,06$ г/см² (5%) в

год. С 1991 г. по 1996 г. содержание H_2O изменялось незначительно в пределах $(1,1-1,3) \text{ г/см}^2$. Начиная с 1997 г. до середины 1999 г. оно снова увеличилось с 1,2 до $1,6 \text{ г/см}^2$, а к 2000 г. – уменьшилось до $1,4 \text{ г/см}^2$.

Сезонный максимум концентрации CO_2 приходится на весенние месяцы (март, апрель), минимум – на конец лета и начало осени (август, сентябрь). Амплитуда сезонных вариаций (от минимума до максимума) с 1981 по 2001 г. изменялась в пределах $(7-10) \text{ млн}^{-1}$. Максимальные ее величины наблюдались в 1987 году (19 млн^{-1}) и 1988 году (15 млн^{-1}). Для среднего за весь период наблюдений сезонного хода концентрации CO_2 амплитуда вариаций равна $7,2 \text{ млн}^{-1}$, максимум концентрации CO_2 приходится на апрель, минимум – на август. За период наблюдений среднегодовая концентрация CO_2 выросла с 340 млн^{-1} в 1980 году до 372 млн^{-1} в 2000 году (среднее увеличение концентрации на $\sim 1,5 \text{ млн}^{-1}$ в год совпадает с данными измерений на фоновых станциях). Средняя скорость увеличения концентрации CO_2 за этот же период, вычисленная в линейном приближении по всей совокупности данных измерений, составляет $1,65 \text{ млн}^{-1}$ в год. Различие этих двух оценок скорости накопления CO_2 в атмосфере объясняется изменчивостью этой характеристики от года к году.

Аномалии изменчивости концентрации CO_2 были определены как отклонения среднемесячных концентраций, найденных по данным измерений на станции Иссык-Куль, от модельного ряда, у которого сезонная составляющая – рассчитанный по данным измерений средний сезонный ход концентрации CO_2 , а межгодовые изменения концентрации CO_2 характеризуются линейным трендом ($1,5 \text{ млн}^{-1}$ в год), определенным по данным измерений на фоновых станциях. Положительные аномалии совпадают по времени с положительными значениями Индекса Южного Колебания. Две наибольшие отрицательные аномалии (до -7 млн^{-1}) приходятся на конец 1987–начало 1998 годов и конец 1988 года. Первая аномалия совпадает по времени с глобальным изменением направления скорости зонального ветра, вторая – с явлением Эль-Ниньо повышенной интенсивности.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 01–05–64543) и INTAS (проект INTAS–IESA–99–1511).

Оценка вклада многократного рассеяния при трассовом зондировании атмосферных газов методом дифференциального поглощения

Барун В.В. (barun@dragon.bas-net.by)

Институт физики им. Б.И. Степанова НАНБ, пр. Скарины 68, 220072 Минск, Республика Беларусь

При зондировании малых газовых составляющих атмосферы по методу дифференциального поглощения (DIAL) оптические сигналы на длинах волн вблизи центра линии поглощения и вне ее (соответственно сигналы on и off) различаются незначительно из-за низкой концентрации детектируемого газа. Поэтому очевидно, что здесь заметно возрастает влияние экспериментальных и методических ошибок. Обычно простые и практичные алгоритмы обработки зондирующих сигналов строятся на основе закона Бугера–Бера или в приближении однократного рассеяния. При этом пренебрегают зависимостью свойств аэрозоля от длины волны линий on и off.

В данной работе теоретически исследован вклад многократного рассеяния света на атмосферных аэрозолях и оценены соответствующие ошибки определения концентрации газа. Кроме того, исследованы экспериментальные погрешности, связанные с зависимостью характеристик аэрозоля на двух длинах волн зондирующего излучения. Расчеты основаны на оптической аэрозольной модели WMO в различных спектральных интервалах. Рассмотрено трассовое детектирование газов, когда сигнал на приемник доставляется в результате отражения зондирующего сигнала от топографической мишени. По сравнению с лидарным зондированием газа, где обратное рассеяние аэрозолями служит источником сигналов DIAL, трассовая схема во многих случаях дает верхнюю оценку оптической толщины слоя атмосферы, при которой существенны эффекты многократного рассеяния. Интенсивности

принимаемых сигналов в полосе поглощения и вне ее рассчитаны по многокомпонентной методике, учитывающей острый пик индикатрисы рассеяния аэрозолей в направлении «вперед» и медленнее меняющуюся геометрооптическую часть индикатрисы. При вычислениях полагалось, что излучение многократно рассеивается на малые углы при распространении до мишени, отражается от нее и далее опять многократно рассеивается аэрозолями на обратном пути до приемника. Такая расчетная схема позволила получить конечные выражения для интенсивностей оптических сигналов в аналитическом виде. Показано, что аэрозоль вносит максимальную погрешность в измерения концентрации при зондировании в диапазоне порядка 9–9,5 мкм, где имеет место сильная спектральная зависимость характеристик рассеяния от длины волны. Это связано с интенсивной полосой поглощения сульфатных ионов, являющихся одной из основных компонент аэрозолей. Ошибки определения концентрации малых газовых составляющих, например, диоксида серы при использовании линий 9R(34) и 9R(24), могут быть очень велики и практически исключают возможность измерения с приемлемой точностью. Предложена простая схема коррекции экспериментальных результатов, основанная на измерении метеорологической дальности видимости или априорном принятии ее модельного значения. Такая коррекция позволяет в несколько раз уменьшить погрешность измерений. С другой стороны, вклад многократного рассеяния в указанном спектральном интервале минимален из-за относительной малости размера частиц по сравнению с длиной волны.

При переходе в видимую или ближнюю УФ область спектра, например, при зондировании озона, роль многократного рассеяния возрастает. В работе оценены предельные оптические расстояния до мишени, когда при заданном уровне погрешности определения концентрации можно для обработки экспериментальных данных пренебречь эффектами многократного рассеяния.

Наземные измерения содержания озона в различных слоях атмосферы по данным интерпретации измерений теплового излучения FTIR-спектрометрами

Виролайн Я.А. (yana.virolainen@pobox.spbu.ru)

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

С. Бакан

Институт метеорологии им. Макса Планка, Гамбург, Германия

Рассмотрен дистанционный метод зондирования безоблачной атмосферы, основанный на измерениях нисходящего теплового излучения атмосферы в ИК области спектра (700–1350 см⁻¹) Фурье спектрометрами с относительно высоким спектральным разрешением порядка 1 см⁻¹. Получены данные по содержанию озона и водяного пара в различных слоях атмосферы.

На основе анализа ковариационных матриц спектрометрических измерений теплового излучения атмосферы, а также исследования чувствительности рассчитанных спектров к вариациям содержания оптически активных в области 700–1350 см⁻¹ малых газовых составляющих (МГС) атмосферы, показано, что рассматриваемый дистанционный метод позволяет уверенно регистрировать 10–15% вариации содержания тропосферного (0–8,5 км) озона, а также 2–3 кратные изменения содержания озона в области высот, включающей тропопаузу (в данном случае – 8,5–11,5 км) и характеризующуюся сильной изменчивостью содержания озона.

На примере интерпретации спектров нисходящего теплового ИК-излучения, измеренных Фурье-спектрометром OASIS Института Метеорологии им. Макса Планка (Гамбург, Германия) во время трех экспедиций (апрель и июнь 2000 г. и июнь 2001 г.) на

корабле в Балтийском море (56°СШ, 18°ВД), показано, что во время всех представленных измерительных кампаний наблюдаются изменения содержания как тропосферного, так и тропопаузного и общего содержания озона в течение суток. Эти изменения связаны, по-видимому, как с горизонтальным, так и с вертикальным перемещением воздушных масс.

Содержание тропосферного (0–8,5 км) озона изменяется в пределах 32–37 DU (апрель 2000), 27–42 DU (июнь 2000) и 30–39 DU (июнь 2001). Содержание озона в области тропопаузы (8,5–11,5 км) изменяется в пределах 18–28 DU (апрель 2000), 10–70 DU (июнь 2000) и 15–60 DU (июнь 2001). Полученные значения общего содержания озона находятся в хорошем согласии с данными спутниковых измерений прибором TOMS и варьируют в пределах 360–410 DU (апрель 2000), 330–340 DU (июнь 2000) и 350–420 DU (июнь 2001).

Статистические исследования профилей озона, полученных по многолетним данным озонозондирования в Линденберге, Германия (52,21°СШ, 14,12°ВД) в апреле и июне, показали, что продемонстрированная изменчивость содержания озона в различных слоях атмосферы является характерной для рассмотренных временных периодов на данных широтах.

Кроме спектрометрических измерений во время всех трех кампаний, на корабле проводились также систематические запуски радиозондов (4 раза в сутки) с целью определения вертикальных профилей температуры и влажности. Полученные из интерпретации спектров данные по этим атмосферным параметрам находятся в хорошем согласии с данными радиозондирования в пределах погрешности обоих методов. Продemonстрирован суточный ход общего содержания (ОС) водяного пара, определенного по данным спектрометрических измерений, показано, что ОС водяного пара меняется в пределах 0,3–0,7 (апрель 2000), 1,0–2,3 (июнь 2000) и 0,8–2,2 см (июнь 2001). Данные радиозондирования подтверждают полученный суточный ход.

Исследование погрешности рассматриваемого дистанционного метода на основе анализа матриц ошибок показало, что потенциальная точность полученных из спектров нисходящего теплового ИК излучения данных о содержании МГС в атмосфере с временным разрешением порядка одного часа составляет для ОС водяного пара 2–5%, ОС озона – 3–7%, содержания озона в тропосфере (0–8,5 км) – 3–7%, содержания озона в области тропопаузы (8,5–11,5 км) – 10–40%.

Данные по наземному определению содержания озона в различных слоях тропосферы рассматриваемым дистанционным методом получены впервые. Данный метод является практически уникальным с точки зрения отслеживания локальных вариаций тропосферного и тропопаузного озона с высоким временным разрешением в условиях безоблачной атмосферы. Кроме того, метод может быть использован для валидации спутниковых измерений как общего, так и тропосферного содержания озона.

Исследования долговременных вариаций содержания CO, CH₄ и H₂O над центральной Россией (1970–2001 гг.) спектроскопическим методом

Гречко Е.И. (grechko@omega.ifaran.ru), Джола А.В., Юрганов Л.Н.

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

В докладе приведены результаты измерений CO на Звенигородской научной станции, начиная с 1970 года. При измерениях использовался комплекс, основанный на спектрометре с дифракционной решеткой. В последнее время достигнут значительный прогресс в методике обработки результатов измерений. Спектры, полученные в период с 1997 и по настоящее время, обработаны двумя методиками: традиционной, использующей эквивалентную ширину линии, и методикой, основанной на методе нелинейных наименьших квадратов. Сравнение методик показало хорошее совпадение результатов. Один из спектрометров вышеописанного типа калибровался в Канаде по Фурье спектрометру

высокого разрешения. Были проведены также сопоставления с локальными измерениями, проводившимися в 1995–1996 гг. с самолета. Эти сравнения показали надежность получаемых результатов.

Тренды для СО, полученные на основе анализа звенигородских данных, сравнивались с трендами, полученными в других лабораториях. Анализ трендов показал, что вслед за 15-летним периодом относительной стабильности, начиная с 1996, наметился спад общего содержания СО в атмосфере. Этот спад иногда нарушается поступлением в атмосферу больших количеств окиси углерода, выделяемой во время лесных пожаров (1998 г.). Сходная картина наблюдается и в Японии. Возможное объяснение этого явления – уменьшение антропогенной эмиссии СО в последние годы.

Тренд содержания метана по данным 1974–2001 гг. составил $\sim 0,5\%$ в год.

Тренды содержания NO₂ в стратосфере по данным измерений на Звенигородской научной станции

Груздев А.Н. (a.n.gruzdev@mail.ru), Елохов А.С. (elokhov@mail.ru)

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

Анализируются данные измерений содержания двуокиси азота в стратосфере над Звенигородской научной станцией Института физики атмосферы, расположенной в сельской местности в 50 км западнее Москвы. Измерения начаты в марте 1990 г. и выполняются в утренние и вечерние сумерки в диапазоне солнечных зенитных углов 84° – 96° по рассеянному из зенита солнечному излучению в видимой области спектра (435–450 нм) с помощью автоматизированного спектрофотометра на базе монохроматора МДР-23. Используемая методика позволяет восстанавливать вертикальный профиль NO₂ и, таким образом, отделять стратосферную часть общего содержания NO₂ от тропосферной части.

Содержание NO₂ в стратосфере над станцией испытывает, помимо годового хода, внутрисезонные и межгодовые вариации. Выделяется сильная (до 30%) и длительная отрицательная аномалия NO₂ в 1992–1994 гг., обусловленная воздействием вулканического аэрозоля после извержения вулкана Пинатубо. Начиная с 1995 г., когда стратосфера очистилась от вулканического аэрозоля, а содержание NO₂ вернулось к нормальному уровню, отмечено постепенное длительное уменьшение содержания NO₂ в стратосфере. Оценки линейных трендов содержания NO₂ в стратосферном столбе по данным утренних и вечерних измерений близки и составляют около $(-9 \pm 3) \cdot 10^{13}$ мол/см² в год. В процентном отношении к соответствующему многолетнему среднегодовому значению утренние значения содержания NO₂ уменьшаются в среднем со скоростью около 3% в год, а вечерние значения – со скоростью около 2% в год. Для объяснения тренда недостаточно рассмотрения только фотохимических процессов, необходимо привлекать данные о долговременных изменениях циркуляции атмосферы.

Об изменениях озонового слоя над северным полушарием и их причинах

Звягинцев А.М. (anatolyz@mtu-net.ru), Крученицкий Г.М.

*Центральная аэрологическая обсерватория Росгидромета, Первомайская 3, 141700 Долгопрудный,
Московская обл., Россия*

Обсуждается центральная проблема озонового слоя – выявление соотношения естественных и антропогенных факторов в наблюдаемых долговременных изменениях озона. Для анализа использованы результаты наблюдений общего содержания озона (ОСО), проведенных с помощью спутниковой аппаратуры TOMS с ноября 1978 (с примерно 1,5-летним перерывом) и на наземных озонметрических станциях с 1926 г. (в т.ч., на

российских станциях с 1973 г.), а также вертикального распределения озона с помощью озонозондов.

В результате наблюдений последних лет и критического осмысления данных предыдущих десятилетий позиция мирового научного сообщества по вопросу о причинах наблюдаемых изменений озонового слоя претерпела существенные изменения. В России понимание того, что основную роль в наблюдаемых изменениях озонового слоя играют процессы, связанные с глобальными климатическими изменениями, и проблема изменений озонового слоя теснейшим образом связана с климатической проблемой, стало доминировать среди специалистов после проведения специальной научной Сессии Отделения океанологии, физики атмосферы и океанографии РАН еще в 1995 г.; за рубежом такая позиция стала широко обсуждаться лишь с 2000-го г. Показано, что наблюдаемые изменения озонового слоя в глобальном масштабе существенным образом связаны с изменениями циркуляции атмосферы, выявляемыми по эволюции параметров арктического и североатлантического колебаний, а также медленной составляющей квазидвухлетних колебаний зонального экваториального ветра в нижней стратосфере. По зарубежным данным, наблюдаются также связи с увеличением в последнее время количества полярных стратосферных облаков, возрастанию высоты тропопаузы и пр. Сезонные озоновые аномалии ("дыры") в Антарктиде и мини-аномалии в Северном полушарии, как правило, имеют значительные качественные различия, что указывает на их различную природу. В то же время количественные связи наблюдаемых изменений озонового слоя с концентрациями в стратосфере так называемых "озоноразрушающих" веществ (в первую очередь, хлорфторуглеродов, используемых как хладагенты в холодильниках), остаются по-прежнему неопределенными. Поэтому если даже атмосфера полностью очистится от "озоноразрушающих" хлорфторуглеродов, наступление вследствие этого ранее предсказанного восстановления озонового слоя является проблематичным.

Наблюдения последних лет существенно изменяют все количественные оценки параметров изменений озонового слоя в средних и высоких широтах Северного полушария, не согласуются с большинством существующих модельных представлений о его эволюции и тем самым еще раз демонстрируют ограниченность наших знаний о закономерностях изменчивости озонового слоя и слабые возможности современной науки прогнозировать его изменения. В Северном полушарии естественные факторы влияют на озоновый слой в значительно большей степени, чем это обычно считалось раньше, и сильнее антропогенных. По-видимому, можно также утверждать, что в настоящее время антропогенные влияния на озоновый слой в Северном полушарии остаются статистически необнаружимыми на фоне его естественной изменчивости.

Эволюция весенней антарктической озоновой аномалии: 1956-2001 гг.

Звягинцев А.М. (anatolyz@mtu-net.ru), Крученицкий Г.М.

*Центральная аэрологическая обсерватория Росгидромета, Первомайская 3, 141700 Долгопрудный,
Московская обл., Россия*

В последние годы параметры Антарктической озоновой аномалии (более известной под общепринятым в СМИ названием озоновой "дыры") существенно отличны как между собой, так и от наблюдаемых в 1980-е годы. Систематическое изучение аномалии стало возможным с началом наблюдений общего содержания озона (ОСО) с помощью спутниковой аппаратуры TOMS с ноября 1978 г.; для анализа нами дополнительно использованы данные по ОСО наземных озонметрических станций с 1956 г. и вертикального распределения озона, полученные с помощью озонозондов. Разработано программное обеспечение для визуализации и анимации Антарктических озоновых аномалий, а также их анализа.

На основе измерений с помощью аппаратуры TOMS получены результаты по: 1) кинетике изменения площади аномалии, 2) ее глубине (минимальному значению ОСО),

3) форме, аппроксимируемой в виде эллипса (координаты центра и параметры осей), 4) угловой скорости вращения вокруг полюса, 5) глубине проникновения аномалии в средние широты, – в различные годы, начиная с 1979 г. Результаты обобщены по годам. В 1990-е годы наиболее сильной была аномалия 1998 г.; в предыдущие 10 лет выделялась аномалия 1987 г. Наиболее необычная из всех аномалий наблюдалась в 2000 г.: она была наибольшей по площади, раньше других началась (на 10 сут.) и закончилась (на 20 сут.), имела наименьшую скорость вращения и глубже других проникала в средние широты. Аномалия 2001-го г. была подобна аномалиям предыдущих лет, но несколько слабее. Эволюция сезонного хода ОСО в различных широтных поясах указывает, что аномалии ОСО над Антарктидой наблюдались гораздо ранее 1980-го г. Существенной особенностью аномалии (по крайней мере, в последние 20 лет) является наличие минимума на высотах 15–20 км в вертикальном распределении отношения смеси озона; в Северном полушарии такой минимум до сих пор ни разу не наблюдался.

По нашему мнению, характерными особенностями весенней Антарктической озоновой аномалии, отличающей ее от всех других аномалий ОСО, являются: 1) хорошая регулярность (с конца зимы до начала лета); 2) локальный минимум в сезонном ходе ОСО в этот период (в прилегающих средних широтах в этот период наблюдается сезонный максимум) и, в последние годы, 3) образование провала на высотах 15–20 км в вертикальном распределении отношения смеси озона. Существование аномалии впервые наблюдалось английской и другими экспедициями еще в 1950-е годы. В настоящее время, по-видимому, происходит уменьшение аномалии, причины которого обсуждаются.

Изменчивость содержания метана в приземном слое и в толще атмосферы

Кашин Ф.В., Арефьев В.Н., Баранов Ю.И., Баранова Е.Л., Бугрим Г.И., Каменоградский Н.Е.
(las@typhoon.obninsk.org)

Институт экспериментальной метеорологии, НПО "Тайфун", пр. Ленина 82, 249038 Обнинск Калужской обл., Россия

Атмосферный метан (CH_4) является одним из трассерных газов, изменение содержания которого может указывать на изменения климата. Контроль содержания метана в атмосфере осуществляется по результатам измерений объемной относительной концентрации CH_4 в пробах приземного воздуха и по спектрам прошедшего атмосферу солнечного излучения. Получаемые этими методами концентрации метана будут равными, если его относительная объемная концентрация постоянна по высоте. Это не выполняется в континентальных районах, где находятся основные источники метана естественного и антропогенного происхождения. В континентальных условиях применение обоих методов позволяет получить информацию о вертикальном распределении концентрации метана.

В работе представлены результаты систематических измерений концентрации метана в приземном воздухе и его содержание в столбе атмосферы в Обнинске (Европейская часть территории России 55,1° N, 36,9° E, 186 м над уровнем моря) в 1998–2001 годах.

Измерения концентрации метана в пробах приземного воздуха проводятся на комплексе аппаратуры, включающем Фурье-спектрометр (спектральное разрешение 0,5 см⁻¹), многоходовую оптическую кювету и технологическую систему для подготовки проб воздуха, контроля в кювете давления и температуры. Многоходовая оптическая кювета с базой 1 м и объемом 0,012 м³ позволяет получать поглощающий слой газа толщиной 30 м. Концентрация CH_4 в пробе воздуха определяется из сравнения экспериментального спектра в области полосы поглощения метана с центром 3,31 мкм и расчетного, полученного для условий эксперимента с использованием параметров линий поглощения атмосферных газов из базы данных HITRAN-96. Статистическая оценка случайной погрешности найденная с помощью

расчета матрицы ошибок составляла $\pm 0,03$ млн⁻¹. Реальное рассеяние величин концентрации метана, полученное по воспроизводимости результатов измерений, составляет $\pm 0,01$ млн⁻¹.

Для измерений общего содержания метана в столбе атмосферы используется комплекс аппаратуры, состоящий из спектрометра (спектральное разрешение 0,3 см⁻¹), системы слежения за Солнцем и блока автоматической регистрации и обработки результатов измерений на базе РС IBM. Содержание метана в столбе атмосферы определяется по спектру солнечного излучения в интервале, содержащем полосу поглощения метана с центром вблизи 3,31 мкм, и градуировочной зависимостью, которая рассчитывается с использованием данных о тонкой структуре спектра (HITRAN-96) и среднемесячных вертикальных профилей давления, температуры и влажности атмосферы. Инструментальная погрешность единичных измерений содержания метана составляет 4%.

Средние сезонные вариации концентрации метана в приземном слое и в столбе атмосферы качественно согласуются. Количественно, концентрации метана в приземном слое примерно на 0,2 млн⁻¹ выше, чем в столбе атмосферы. В весенние месяцы минимальные приземные концентрации СН₄ превышают средний сезонный ход, полученный по данным спектроскопических измерений, и согласуется с ним во второй половине года. Это объясняется сезонной изменчивостью мощности источников метана: ее увеличением весной (увеличение влажности почвы после оттаивания) и уменьшением во второй половине года (при высыхании почвы). Полученный результат показывает, что для континентальных условий объемная относительная концентрация метана изменяется с высотой, а ее превышение над фоновыми значениями может иметь региональный характер и зависеть от мощности приземных источников метана и их пространственного распределения.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 01-05-64543) и INTAS (проект INTAS-IESA-99-1511).

Глобальные распределения температуры и содержания углекислого газа в мезосфере и нижней термосфере по данным эксперимента CRISTA

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

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

На основе интерпретации измерений спектров уходящего излучения атмосферы в полосе углекислого газа 15 мкм (космический эксперимент CRISTA-1, ноябрь 1994 г.) методом, учитывающим эффект нарушения локального термодинамического равновесия, получены вертикальные профили температуры в диапазоне высот 40–120 км и содержания углекислого газа в диапазоне высот 40–90 км. Построены глобальные и широтно-высотные распределения указанных параметров. Проанализированы значения высоты и температуры мезопаузы. Представлены характеристики зарегистрированных температурных инверсий в мезосфере (высотные уровни, амплитуды, значения вертикальной протяженности). Выполнены оценки широтной и суточной изменчивости восстановленных параметров.

Показано, что уменьшение значений отношения смеси углекислого газа с высотой в среднем начинается с 70–75 км, что существенно ниже, чем предсказывается в численных моделях верхней атмосферы. Этот результат полностью согласуется с данными восстановлений содержания СО₂ на основе интерпретации измерений прибора CRISTA, полученными независимо с помощью принципиально иного подхода, основанного на измерениях излучения в дневное время в полосе 4,3 мкм и численном моделировании неравновесной населенности колебательных состояний молекул СО₂. Средние профили отношения смеси для средних широт обоих полушарий на высоте 90 км отличаются в пределах 40 млн⁻¹. Средние широтные градиенты отношения смеси СО₂ в средней и верхней мезосфере достигают значений 4,8 млн⁻¹ в расчете на 10 градусов широты. При этом

наблюдается уменьшение содержания углекислого газа в направлении от южных широт (весна) к северным (осень).

Проведено сравнение полученных результатов с данными глобального моделирования состояния средней атмосферы на основе трехмерной модели.

Особенности поведения стратосферного озона в полярных и умеренных широтах по данным одновременной микроволновой наземной диагностики

Куликов Ю.Ю. (yuyukul@appl.sci-nnov.ru), Красильников А.А., Рыскин В.Г., Галкин С.В.,
Грязина Е.Н.

Институт прикладной физики РАН, 603950, Ульянова 46, Нижний Новгород, Россия

Необходимость синхронных микроволновых дистанционных наблюдений за вариациями озона на высотах от 20 до 60 км в умеренных и полярных широтах вызвана устойчивым снижением его содержания в стратосфере Северного полушария Земли. Важным достоинством наблюдений в миллиметровом диапазоне волн по сравнению с контактными (на баллонах и ракетах) и дистанционными измерениями озона в оптическом и инфракрасном диапазонах волн является то, что они могут выполняться круглосуточно и менее зависят от погодных условий и присутствия в атмосфере облаков и аэрозолей. В докладе приводятся результаты микроволновых наблюдений стратосферного озона в Нижнем Новгороде (56°с.ш., 44°в.д.) и Апатитах (67°с.ш., 35°в.д.) за последние четыре зимы, в том числе в рамках международной программы SOLVE зимой 1999/2000 года. Основная задача программы состояла в выяснении причин потерь озона в Арктике.

Наблюдения стратосферного озона в Н.Новгороде проводились с помощью гетеродинного компенсационного спектрометра диапазона частот 80–120 ГГц. В наблюдениях был использован вращательный переход озона $J = 6_{1,5} - 6_{0,6}$ на резонансной частоте 110835,92 МГц. Однополосная шумовая температура приемника спектрометра составляла 2500 К. Подавление зеркального канала около 15 дБ. Анализатор спектра представлял собой фильтровую систему (26 спектральных каналов) с полной полосой анализа 113 МГц и с переменным частотным разрешением от 0,25 МГц до 9 МГц. Параметры данного комплекса аппаратуры позволяли реализовать дистанционное зондирование озона (интервал высот 22–70 км) с временным разрешением 15 мин. Наблюдения стратосферного озона в Апатитах проводились с помощью гетеродинного модуляционного спектрометра, который работал в том же самом диапазоне частот, что и прибор в Н.Новгороде. В наблюдениях был использован другой переход озона $J = 4_{0,4} - 4_{1,3}$ на резонансной частоте 101736,76 МГц. Использование этого перехода более оправдано в районах, где в течение нескольких часов может изменяться влагосодержание тропосферы. Однополосная шумовая температура спектрометра составляла 3000 К. Анализатор спектра представлял собой фильтровую систему (20 спектральных каналов) с полной полосой анализа 150 МГц и переменным частотным разрешением от 1 МГц до 15 МГц. Параметры этого спектрометра позволяли иметь информацию о вертикальном профиле озона от 20 до 60 км. Измерения спектров излучения атмосферы осуществлялись как методом вариации зенитного расстояния так и методом абсолютной калибровки по двум эталонам теплового излучения. Восстановление вертикального распределения озона по измеренным спектрам проводилось методом подгонки. В процедуре восстановления использовались как модельные зависимости давления и температуры от высоты, так и реальные, полученные в результате измерений на баллонах в месте микроволновых наблюдений стратосферного озона. Верхний предел неопределенности вертикального распределения озона на высотах 20–60 км не превышает 20%.

По результатам синхронных микроволновых наблюдений озона в полярных и умеренных широтах можно сделать следующий вывод, что характер пространственно-

временных вариаций озона на высотах от 20 до 60 км свидетельствует о том, что, несмотря на большое расстояние между наблюдательными пунктами, поведение озона представляется как единая система, тесно связанная с состоянием циркумполярного вихря.

Исследования поля микроволнового излучения атмосферы над Балтикой в международном проекте CLIWA-NET

Кутуза Б.Г. (kutuza@mail.cplire.ru), Собачкин А.А., Загорин Г.К.

Институт радиотехники и электроники РАН, Моховая 11 корп. 7, 101999 Москва, Россия

Щукин Г.Г., Рыбаков Ю.В., Образцов С.П.

Филиал Главной геофизической обсерватории, НИЦ дистанционного зондирования атмосферы, Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

Целью Европейского проекта CLIWA-NET является изучение процессов переноса жидкокапельной и парообразной влаги над бассейном Балтийского моря. СВЧ-радиометрические наблюдения проводились в два периода сетью из 12 станций, расположенных в прибрежных районах разных стран. В течение каждого периода дистанционные измерения велись непрерывно, продолжительность их составляла 2 месяца: август–сентябрь 2000 г. и апрель–май 2001 г. В докладе будут представлены результаты, полученные на самой восточной из сети станций, расположенной в пос. Воейково Ленинградской области.

Микроволновое излучение атмосферы измерялось с помощью 4-х СВЧ-радиометров на частотах 13,7; 22,2; 37,5 и 90 ГГц. Чувствительность радиометров составляла 0,1–0,3 К при постоянной времени 1 сек. СВЧ-радиометры были установлены в помещении, рупорные антенны радиометров были неподвижны, поля их зрения были направлены в окно под углом 20° относительно горизонта на частоте 13,7 ГГц и под углом 40° на остальных частотах. Калибровка приборов осуществлялась по двум уровням излучения: абсолютно черного тела и безоблачной атмосферы. Одновременно с радиотепловыми измерениями атмосферы проводились измерения с помощью радиолокатора МРЛ-5, инфракрасного радиометра и штатных контактных метеорологических приборов.

В процессе проведения работы было разработано программно-математическое обеспечение, позволяющее автоматизировать получение радиационных и радиолокационных данных в стандартном цифровом виде, определять значения полной массы водяного пара в атмосфере и водозапаса облаков, оценивать интенсивность дождя. Полученные данные СВЧ-радиометрических измерений относятся к различным погодным условиям, они находятся в хорошем согласии с данными радиолокационных, инфракрасных, радиозондовых и наземных контактных метеорологических измерений. Для повышения точности данных о яркостной температуре в августе 2001 в г. Кабау, Нидерланды был проведен комплексный эксперимент, в котором в одном и том же месте радиоизлучение атмосферы одновременно измерялось всеми СВЧ-радиометрами, ранее обеспечивающие работу на разных станциях по данному проекту.

Исследование изменчивости общих содержаний метана и окиси углерода по данным наземных спектроскопических измерений

Макарова М.В. (zaits@troll.phys.spbu.ru), Поберовский А.В., Тимофеев Ю.М.

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

Увеличение содержания ряда “парниковых” газов (CO_2 , H_2O , CH_4 , N_2O и т.д.) приводит к изменениям радиационных свойств атмосферы и, как следствие, к изменениям климата Земли. Одним из хорошо известных и используемых наземных методов измерений характеристик газового состава является метод, основанный на регистрации спектров

поглощения солнечного ИК излучения. С 1990 года спектроскопические измерения ОС CH_4 , H_2O и CO были начаты в НИИФ СПбГУ, по данным которых был проведен анализ временной изменчивости метана и окиси углерода в атмосфере.

Метан

Годовой ход ОС CH_4 вблизи Санкт-Петербурга имеет минимум в июне–августе и максимум в ноябре–январе. Амплитуда сезонных изменений ОС CH_4 составляет ~3% от среднегодового значения этой величины. Сравнение с данными спектроскопических измерений ОС CH_4 , проводимых на станции Ни-Алезунд (78,9°N; 11,9°E), Китт-Пик (32°N; 112°W) показало, что для трех станций характер годового хода ОС CH_4 различен. Для периода 1995–2000 гг. зарегистрировано увеличение амплитуды годового хода ОС CH_4 . Это может свидетельствовать о процессе уменьшения времени жизни метана в атмосфере и может являться одной из причин наблюдающегося в последние 20 лет значительного падения скоростей роста атмосферного CH_4 . Проведенный анализ долговременных изменений ОС CH_4 в течение всего периода измерений показал:

- 1) что для периода 1991-1999 гг. наблюдался слабый рост ОС CH_4 - тренд был положителен, но в силу малости, статистически не значим (не отличим от нуля);
- 2) в 1999–2001 гг. наблюдалось резкое уменьшение ОС CH_4 , которое существенно повлияло на оценки тренда за все десятилетие.

Окись углерода

Результаты анализа изменчивости ОС CO показали наличие ярко выраженного годового хода ОС CO в районе Санкт-Петербурга, имеющего амплитуду порядка 25%, максимум в феврале и минимум в июле–августе. Сравнение временного поведения ОС CO для трех станций (данные, измеренные на Звенигородской научной станции ИФА РАН, предоставлены Е.И. Гречко и А.В. Джолой) показало:

- 1) наличие сдвига годового хода для Санкт-Петербурга и Звенигорода на месяц, годовой ход ОС CO для Ни-Алезунда более сложный, чем для Санкт-Петербурга или Звенигорода;
- 2) рост амплитуд годового хода с широтой: для Звенигорода, Санкт-Петербурга и Ни-Алезунда (расположенных в порядке возрастания широты) амплитуды имеют следующие значения: 20%, 24% и 26%;
- 3) средние значения ОС CO для Санкт-Петербурга и Ни-Алезунда согласуются в пределах 1%, в то время как для Звенигорода аналогичные значения систематически выше на ~15%.

Для района Санкт-Петербурга было проведено исследование статистических (корреляционных) связей между рядами остатков (с исключенным годовым ходом) ОС CH_4 , CO и O_3 ; высотой тропопаузы ($H_{\text{тр}}$); направлением ветра. Кроме собственных (НИИФ СПбГУ) измерений ОС CO и CH_4 , были использованы данные по ОС O_3 для станции ГГО в пос. Воейково, предоставленные А.М. Шаламянским. Для района Санкт-Петербурга показано наличие слабой значимой положительной статистической связи между рядами остатков ОС CO и O_3 . Согласно современным представлениям о фотохимических процессах в тропосфере, это может означать, что окисление CO приводит к формированию O_3 в тропосфере в условиях достаточно высоких концентраций оксидов азота. Анализ зависимости наблюдаемых значений ОС CH_4 и CO от направления ветров указывает на влияние антропогенных источников Санкт-Петербурга на измеряемые величины общих содержаний этих газов. Вклад городских воздушных масс на регистрируемые значения ОС CH_4 и CO не превышает 1% и 0,3% соответственно.

Великие сибирские реки, их эстуарии и водосбор: Опыт изучения зимней гидрологии и состояния мерзлых грунтов на материале спутникового многоспектрального зондирования

Мелентьев В.В. (vladimir.melentyev@niersc.spb.ru), Бобылев Л.П.

*Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Хансена, Б. Монетная
26/28, 197101 Санкт-Петербург, Россия*

Л.Х. Петтерссон (lasse.pettersson@nrsc.no), С. Сандвен

*Центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Хансена, Эдв. Григ 3А, N-5037
Солхеймсвикен, Норвегия*

Донченко О.Г.

НИИ экологической безопасности РАН, Корпусная 18, 197110 Санкт-Петербург, Россия

Розанов О.В. (space@yamalinfo.ru)

Управление охраны природы Ямало-Ненецкого автономного округа, К. Маркса 7, Салехард, Россия

Особенности состояния льда и ледовый режим Обской Губы и Енисейского залива изучены на материале многолетних спутниковых съемок и натурных наблюдений, выполнявшихся с борта атомных ледокольных судов, работающих на трассе Мурманск–Дудинка. Данные спутниковой съемки состояния припайного льда Обской Губы проанализированы на материалах натурных наблюдений экспедиции АРКДЭВ, имевшей целью осуществление опытной зимней проводки танкера ледового класса в район газового месторождения Тамбей-Сабета. Используемые в работе архивы радиолокационной информации спутников ЕРС-1/2 и РАДАРСАТ охватывают период наблюдений эстуариев великих сибирских рек с начала 90-х годов. Кроме того, для изучения особенностей ледового режима Обь-Енисейской стационарной полыньи и сопряженных участков акватории Карского моря использованы архивы спектральных наблюдений российского спутника “Ресурс”. Эти материалы, а также данные наземных наблюдений по Ямало-Ненецкому автономному округу, предоставлены нам региональным отделением Управления охраны природы (г. Салехард).

Значительный объем информации по состоянию водных ресурсов Обь-Енисейской области и всему обширному Западно-Сибирскому региону получен по данным микроволновой съемки отечественного ИСЗ “Океан” (начиная с 1980-х годов) и американского спутника DMSP (микроволновая радиометрическая аппаратура SMMR-SMM/I). Данные американского спутника, удовлетворяющие необходимым для практического использования требованиям калибровки радиояркостных температур, относятся к периоду после 1978 года. Микроволновые спутниковые измерения использовались для исследования развития процессов ледообразования в Обской Губе и Енисейском Заливе, в областях примыкающих к ним участков морского шельфа и мелководий (а также таяния и разрушения льда). Микроволновые спутниковые измерения использованы также для изучения состояния многолетне- и сезонномерзлых грунтов на водосборе Оби и Енисея.

Выполненные исследования показали перспективность использования многолетних многоспектральных спутниковых съемок для картирования параметров состояния воды и льда, для изучения региональных погодных процессов и явлений, а также для исследования климатической изменчивости состояния водных масс Обской Губы и Енисейского залива, являющихся накопителями осадков, воды и продуктов таяния снега и льда с гигантских водосборных участков Западной и Центральной Сибири. В докладе представлены результаты спутникового картирования изменчивости параметров состояния льда (толщины, возраста, сплоченности, степени распресненности и шероховатости, происхождения), процессов водо- и ледообмена эстуариев рек и прилегающих участков Карского моря), приведены данные реконструкции погодных явлений по спутниковому “радиопортрету” припайного льда, даны материалы о характере пространственно-временной изменчивости мерзлых грунтов в регионе.

Использование искусственных нейронных сетей для восстановления высотного профиля концентрации озона по данным пассивного 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 Нижний Новгород, Россия

Предлагается метод восстановления высотного распределения стратосферного озона по данным дистанционного пассивного зондирования атмосферы. Эксперимент по получению данных состоит в регистрации излучения атмосферы в резонансных линиях вращательного спектра молекул озона, приходящихся на миллиметровый диапазон длин волн. В регистрируемый сигнал дает вклад излучение атмосферы, приходящее с разных высот, поэтому восстановление концентрации озона по радиометрическим измерениям представляет собой некорректную обратную задачу.

Авторами разработан подход к вероятностному решению этой задачи, основанный на использовании априорной информации о шумовой компоненте принимаемого излучения. Подход базируется на теореме Байеса, связывающей априорные и апостериорные условные вероятности. Располагая информацией о том, каким образом шумы входят в систему, а также об их распределении, можно, выбрав аппроксимацию (модель) зависимости концентрации озона от высоты, построить функционал правдоподобия для данной аппроксимации. Этот функционал, согласно теореме Байеса, определяет функцию плотности вероятности параметров модели. Получив статистический ансамбль параметров модели, распределенный в соответствии с построенной функцией плотности вероятности, можно оценить как наиболее вероятное значение, так и доверительный интервал для концентрации озона на нужной высоте, что решает задачу восстановления.

В данной работе предложен "универсальный" метод реализации описанного подхода, в котором аппроксимация высотного распределения озона строилась на основе искусственной нейронной сети.

В докладе представлены результаты восстановления как по модельным линиям излучения, так и по данным зондирования озонового слоя в высоких широтах. Обсуждается зависимость точности восстановления от уровня шумов различной природы (шумы в атмосферной системе; шумы, привносимые измерительным прибором), а также от технического параметра модели – количества нейронов в искусственной нейронной сети.

Исследование методом численного моделирования формирования цвета воды в прибрежной зоне

Поздняков Д.В. (dmitry.pozdnyakov@niersc.spb.ru)

*Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена, Б. Монетная
26/28, 197101 Санкт-Петербург, Россия*

Лясковский А.В.

Эстон Университет, Бирминген, Великобритания

Х. Грассл

Метеорологический институт Макса Планка, Гамбург, Германия

Л. Петтерссон

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

На основе численного моделирования влияния на спектральное распределение восходящей яркости света актов поглощения, упругого рассеяния, неупругого (комбинационного) рассеяния в водном столбе и флуоресценции хлорофилла (ХЛ) и растворенного органического вещества (РОВ), а также оптического взаимодействия фотонов света с дном водоема, исследованы механизмы формирования цвета воды.

Ранее, нами были проведены численные эксперименты по чувствительности радиометрических цветовых характеристик полубесконечного водного столба к изменению вектора концентраций ХЛ, МВ и РОВ. Анализ полученных результатов привел к следующим выводам:

- 1) сравнение полученных данных о значениях доминантной длины волны $\lambda_{dom}(H)$ для илистого дна и дна покрытого водорослями *Boodlea* с данными расчетов для полубесконечного водного столба ($\lambda_{dom}(\infty)$) с учетом транс-спектральных процессов показывает, что оптическое влияние дна проявляется в смещении в длинноволновую область значения λ_{dom} вне зависимости от исследовавшихся двух типов донного покрытия. Это смещение оказывается тем значительнее, чем прозрачнее водный столб и выше зенитное положение Солнца. При этом зеленая поверхность дна в сравнении с илистой обуславливает большие $\Delta\lambda_{dom}$;
- 2) с увеличением мутности водного столба (возрастания либо C_{sm} (мг/л) от 0,1 до 5,0, либо C_{chl} (мкг/л) от 0,1 до 20,0)) величина сдвига $\Delta\lambda_{dom}$ очень быстро снижается даже при высоте водного столба $H = 1$ м. Это снижение $\Delta\lambda_{dom}$ дополнительно усиливается с ростом поглощательной способности водного столба: увеличение C_{doc} (мгС/л) от 0,1 до 20,0 даже при глубине залегания дна $H = 1$ м практически сводит на нет оптическое влияние дна;
- 3) оптическое влияние дна, покрытого зеленой водорослью *Boodlea*, в исследовавшемся нами диапазоне концентраций ХЛ, МВ и РОВ прекращается при глубинах более 20 м даже в очень прозрачных водах;
- 4) влияние зенитного угла Солнца θ_0 на пороговое значение вектора концентраций C (ХЛ, МВ, и РОВ), превышение которого приводит к “отсечению” оптического влияния дна на радиометрические цветовые характеристики водного столба, выражено довольно слабо в диапазоне $30^\circ < \theta_0 < 55^\circ$, который характерен для летнего периода средних широт;
- 5) в случае илистой донной поверхности и весьма прозрачных вод (случай скорее чисто теоретический) оптическое влияние дна прекращается при высоте водного столба 10 м во всем исследовавшемся диапазоне солнечных зенитных углов.

Для гидрооптических условий, более характерных для литоральных зон внутренних водоемов и прибрежных морских зон, где содержание ХЛ, МВ и РОВ может быть значительным, оптическое влияние альbedo дна на радиометрические цветовые характеристики проявляется лишь при глубинах ≤ 5 м. МВ более эффективно нейтрализует оптическое влияние дна, чем фитопланктон. В свою очередь фитопланктон в этом отношении более эффективен, чем РОВ.

Определены условия, при которых для восстановления по данным дистанционного зондирования содержания ХЛ, МВ и РОВ водном столбе на мелководье требуется исключение оптического влияния дна.

Исследование озонового слоя методами дистанционного зондирования на миллиметровых волнах

Розанов С.Б., Кропоткина Е.П., Соломонов С.В. (solomon@sci.lebedev.ru)
Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Ленинский пр. 53, 119991 Москва, Россия

Сформулированы задачи дистанционного зондирования атмосферы на миллиметровых (ММ) радиоволнах. Важнейшей задачей является получение новых данных об изменениях в озоносфере под влиянием естественных и антропогенных факторов. Особый интерес представляют густонаселенные средние широты нашей страны, ее Московский регион, защитный озоновый слой над которыми испытывает влияние процессов в полярном стратосферном вихре в холодное полугодие. Рассмотрены особенности формирования спектров радиоизлучения в озоновом слое, представлены результаты численных и натурных

экспериментов, подтверждающих эффективность радиофизических методов исследования озоносферы. Приведены новые результаты выполняемого в ФИАН мониторинга озонного слоя над Московским регионом. Регулярные наблюдения вертикального распределения озона (ВРО) проводятся с помощью размещенного в Москве спектрорадиометра на частотах спектральной линии молекул озона в диапазоне длин волн 2,1 мм [1]. По собственному тепловому излучению регистрируется вертикальное распределение озона в дневное и ночное время на высотах 15–75 км. Восстановление вертикального распределения озона из измеренного спектра выполняется методом Тихонова. Ошибки восстановления ВРО не превосходят 5–7% на высотах 20–50 км и составляют не более 20–30% в остальной области зондируемых высот (при времени накопления около 1 часа). Разработана новая методика исследования ночного озона в слоях выше 75 км [2]. Для этого используются данные о спектре излучения мезосферного озона на миллиметровых (ММ) волнах и о температуре атмосферы на высотах 80–90 км, получаемые из синхронных измерений излучения гидроксила в ближнем ИК диапазоне из той же самой области верхней атмосферы. Измерения проводятся под руководством А.И. Семенова [2] с помощью спектрофотометра Звенигородской научной станции ИФА РАН. Одновременные наблюдения озона на ММ волнах и гидроксила в ИК диапазоне были проведены впервые. Они позволили получить уникальные данные о содержании озона, концентрации возбужденного гидроксила в верхней атмосфере, оценить содержание атомарного кислорода, водорода, а также получить данные о температуре и плотности воздуха вблизи мезопаузы. Спектрорадиометр ФИАН был включен в состав глобальной наземной озонометрической сети по международным программам DYANA (1990 г.), CRISTA/MAHRSI (1994 г., 1997 г.), SOLVE-2000 (1999–2000 гг.). Зарегистрированные на ММ волнах профили стратосферного озона совпадали в пределах ошибок с озонозондовыми и спутниковыми данными, полученными в одно и то же время. Приведены результаты исследований вариаций в вертикальном распределении стратосферного озона. Установлены корреляционные связи между вертикальным распределением озона и другими параметрами стратосферы. Изучено развитие явлений уменьшения содержания озона на высотах 25–45 км. Установлены причины и закономерности возникновения таких явлений под влиянием процессов в полярном стратосферном вихре. На смену воздуху с нормальным содержанием озона в холодное полугодие часто приходят воздушные массы из полярного вихря, где происходит разрушение озона. Исследованы межгодовые различия в высотно-временном распределении стратосферного озона над Московским регионом за период с 1996 по 2002 гг. На основании многолетних наблюдений построена модель озоносферы, включающая средние за месяц и за год значения содержания озона на разных высотах.

Работа поддержана грантами РФФИ № 99–02–18132, 00–05–64976 и грантом программы «Ведущие научные школы» № 00–15–96586.

1. Соломонов С.В., Розанов С.Б., Кропоткина, Лукин А.Н. *Радиотехника и электроника*, 45, 12, 2000, 1519–1525.
2. Соломонов С.В., Кропоткина Е.П., Семенов А.И. *Краткие сообщения по физике*, 2001, 31–39.

Определение общего содержания NO₂ по данным AERONET

Рублев А.Н. (rublev@imp.kiae.ru)

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

Чубарова Н.Е. (chubarova@imp.kiae.ru)

Московский государственный университет, Воробьевы горы, географический факультет, Метеорологическая обсерватория, 119299 Москва, Россия

Горчаков Г.И. (gengor@omega.ifaran.ru)

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

В настоящее время активно развивается глобальная сеть AERONET, предназначенная для определения характеристик аэрозоля по спектральным измерениям прямого и рассеянного солнечного излучения (СИ). Эта сеть насчитывает несколько десятков автоматических радиометров Cimel, установленных на различных метеорологических станциях по всему земному шару. Они передают информацию по специальным каналам связи в единый центр, где после соответствующей обработки, она становится доступной пользователям на сайте <http://aeronet.gsfc.nasa.gov>.

В ходе проведения сравнений между расчетами и измерениями солнечных интегральных потоков, проводимых на Метеорологической обсерватории МГУ и трех станциях США в Оклахоме, Тихом океане (Науру) и Аляске (Барроу), данные AERONET привлекались как основной источник информации о параметрах атмосферы. Для корректного описания условий распространения СИ потребовалось оценить общее содержание в атмосфере диоксида азота NO₂. Известно, что NO₂ – это токсичный газ, главным образом, антропогенного происхождения, за содержанием которого в атмосфере и источниками выбросов осуществляется постоянный контроль в рамках экологического мониторинга. Однако, NO₂ – еще и оптически активный газ, который не только сам поглощает СИ в районе 400 нм, но и тем самым искажает спектральный ход аэрозольного показателя ослабления. Это обстоятельство заставило разработать специальный алгоритм, в котором восстановление общего содержания (ОС) NO₂ происходило совместно с определением оптической толщины аэрозоля в видимой области и оценкой его показателя Ангстрема.

Результаты восстановления ОС NO₂ показали, что для рассмотренных станций в наибольшем количестве он присутствует в атмосфере Москвы, где его содержание менялось в пределах 1–3 ЕД. По аналогии с озоном мы используем единицы Добсона: 1 ЕД = $2,7 \cdot 10^{16}$ мол./см², что примерно соответствует оптической толщине поглощения NO₂ $\tau = 0,02$ на длине волны 400 нм. Для Оклахомы (сентябрь–октябрь 1997 г.) содержание NO₂ было в диапазоне 0–2 ЕД, для Барроу (июль 1999 г.) – 1–2 ЕД. В Науру (июнь–июль 2000 г.) NO₂ отсутствовал.

К сожалению, авторы не располагали результатами прямых измерений ОС NO₂, поэтому с целью проверки работоспособности разработанного способа использовались данные наземных измерений концентраций NO₂, полученные близлежащими к МГУ пунктами автоматизированной системы экологического мониторинга АО «Прима». Их пересчет в ОС, используя характерные высоты пограничного слоя атмосферы, показывает, что оценки, полученные по данным AERONET, находятся в пределах пространственной изменчивости NO₂, наблюдаемой в Москве.

К вопросу о возможности определения общего содержания парниковых газов методом солнечной фотометрии при грубом спектральном разрешении

Сакерин С.М. (sms@iao.ru), Фирсов К.М.

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

Для выяснения причин происходящих климатических изменений необходим мониторинг парниковых газов в различных регионах. В России исследования общего содержания газов спектроскопическим методом пока осуществляются в трех районах европейской части. Более широкое использование метода сдерживается относительно высокой стоимостью спектрометров высокого разрешения и сложностью организации автоматизированных измерений. Анализ вопроса показал, что в отношении парниковых газов нет ограничений принципиального характера для реализации методик низкого разрешения (на основе интерференционных фильтров), которые давно применяются для водяного пара и озона, в том числе в режиме автономных измерений.

Основная трудность задачи состоит в необходимости учета перекрывания полос поглощения и калибровки прибора. Суть методики заключается в последовательном определении аэрозольной толщи, общего влагосодержания (канал 0,94 мкм) и их функций пропускания. Затем – определение второго газа (например, CO_2 в полосе 2,06 мкм) с учетом относительной (между спектральными каналами) функции пропускания H_2O . Далее – третий газ с использованием функций пропускания H_2O и CO_2 . Предлагаемый подход содержит следующие основные процедуры:

- для каждого спектрального канала на основе базы спектроскопических данных HITRAN-2000 и с учетом контура фильтров рассчитываются функции пропускания газов;
- для функций пропускания подбираются экспоненциальные аппроксимации (зависимости от концентраций, оптических масс m и спектральных параметров);
- к измеренным сигналам V_i применяется процедура “рафинирования” – перехода к сигналам V_i^* , зависящим только от функции пропускания искомого газа;
- по сигналам V_i^* рассчитываются калибровочные константы и искомые концентрации.

В методике калибровки получил дальнейшее развитие подход, известный в литературе как modified Langley plot method (экстраполяция к нулевой массе). В отличие от аэрозольной калибровки экстраполяция логарифма V_i^* осуществляется в виде зависимости от массы m с показателем степени, подобранным при аппроксимации функций пропускания.

В работе проводится анализ погрешностей, возникающих при расчете функций пропускания, обусловленных молекулярным поглощением. Это – погрешности, связанные с отсутствием информации о вертикальных профилях температуры, давления, концентрации поглощающих газов и спектроскопические погрешности (интенсивности и полуширины линий поглощения). Предложена регрессионная методика коррекции функции пропускания по измеренной температуре у поверхности земли. Методом численного моделирования определены оптимальные длины волн зондирования атмосферы с целью определения общего содержания парниковых газов.

Работа частично поддержана грантами РФФИ № 02–05–64492 и № 01–05–61152.

Определение альбедо однократного рассеяния аэрозоля в безоблачной атмосфере по измерениям с помощью MFRSR

Свириденков М.А. (misv@mail.ru), Аникин П.П., Ромашова Е.В.

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

Альбедо однократного рассеяния является одним из важнейших климатически значимых параметров атмосферного аэрозоля. В то же время, оценка его величины в столбе

атмосферы является сложной и до конца не решенной задачей. Существует несколько подходов к этой проблеме. Один из них базируется на связи между аэрозольным поглощением и отношением потока рассеянного излучения, приходящего на горизонтальную площадку, к прямому, пропущенному атмосферой, солнечному излучению. Важным достоинством этого метода является то, что в случае измерения прямого и рассеянного излучения одним и тем же детектором отпадает необходимость в абсолютной калибровке прибора. В докладе рассматриваются возможности этого метода применительно к прибору MFRSR (Multifilter Rotating Shadowband Radiometer). MFRSR измеряет полную, рассеянную и прямую радиацию на шести длинах волн в диапазоне 415–939 нм. Нами были проведены расчеты отношения R рассеянного к прямому излучению для широкого набора входных параметров (оптической толщины от 0,02 до 0,8, среднего косинуса индикатрисы рассеяния от 0 до 0,7, альbedo подстилающей поверхности от 0 до 0,6, вероятности выживания кванта от 1 до 0,8) и для четырех значений зенитного угла солнца (45, 60, 70, 80 град). Расчеты проводились методом Монте-Карло. Для всего массива полученных значений R подобрана эмпирическая параметризация, что значительно упрощает интерпретацию экспериментальных данных. Для оценки аэрозольного поглощения необходимо знать (кроме рассчитываемых и измеряемых MFRSR величин) средний косинус индикатрисы рассеяния и альbedo подстилающей поверхности. Предлагается для оценки среднего косинуса воспользоваться его связью с параметром Ангстрема, а альbedo поверхности определять по R в ситуациях с очень высокой прозрачностью. В докладе приводятся оценки альbedo однократного рассеяния, полученные по измерениям на Звенигородской научной станции ИФА РАН в 2001–2002 гг.

Использование данных спутникового зондирования характеристик подстилающей поверхности в задаче моделирования гидрологического цикла речного водосбора

Успенский А.Б. (uspensky@planet.iitp.ru), Волкова Е.В.

НИЦ космической гидрометеорологии “Планета” Росгидромета, Б. Предтеченский пер. 7, 123242 Москва, Россия

Музылев Е.Л. (muzylev@aqua.laser.ru), Старцева З.П.

Институт водных проблем РАН, Губкина 3, 119991 Москва, Россия

Усовершенствованы и испытаны метод и алгоритмы тематической обработки информации AVHRR ИСЗ NOAA-14 для определения эффективной радиационной температуры $T_{s,eff}$ и излучательной способности E подстилающей поверхности, температур воздуха T_a (на границе растительность–атмосфера) и почвы без растительности T_g , а также для картирования нормализованного индекса вегетации $NDVI$ и расчета проективного покрытия растительностью B . Под $T_{s,eff}$ понимается взвешенная линейная комбинация значений T_g и T_a . При условии $T_a \approx T_v$ (где T_v – температура растительного покрова) $T_{s,eff}$ можно трактовать как эффективную радиационную температуру подстилающей поверхности. Предложенный метод обеспечивает детектирование облачных образований и учитывает такие факторы, как атмосферное ослабление излучения, нечернота подстилающей поверхности, возможность значительного “перегрева” верхнего тонкого слоя почвы по сравнению с приземным слоем почвы за счет солнечной инсоляции. Определение всех названных характеристик производилось для водосбора р. Сейм (Курская обл.) площадью 7460 км² для сезонов вегетации 1997, 1999–2001 гг. для блоков 3x3, 5x5 и 10x10 пикселей, классифицированных как безоблачные.

Разработанный метод содержит:

- процедуру расчета величины B для каждого пикселя по данным измерений в 1 и 2 каналах на основе зависимости B от $NDVI$;

- оценку E для каналов 4, 5, получаемую с использованием эмпирических связей между E и B и “типичных” значений E для растительности и почвы, извлеченных из модели EOS/MODIS;
- построение спутниковых оценок $T_{s,eff}$, T_a , T_g с помощью локального регрессионного алгоритма “расщепленного окна прозрачности” (РОП). Коэффициенты регрессии в алгоритме РОП определяются по обучающим выборкам синхронных пространственно совмещенных спутниковых (AVHRR) и наземных (синоптических) измерений.

Получена и исследована статистика ошибок спутниковых оценок $T_{s,eff}$ в зависимости от объема обучающей выборки, масштаба осреднения, способов уточнения и использования в регрессионной оценке значений E . В частности, согласно сопоставлениям с данными наблюдений *in-situ* (более 70 наблюдений на 6 агрометстанциях Курской области) величины средней квадратичной ошибки определения T_a , $T_{s,eff}$ составили 2,0 и 2,5°C, соответственно.

Кроме того, на основе эмпирических связей между $NDVI$ и относительной площадью листьев (LAI) выполнены оценки последней величины для различных сроков сезона вегетации.

Спутниковые оценки температур и других характеристик подстилающей поверхности были применены для валидации модели вертикального тепло- и влагопереноса в системе “почва–растительность–атмосфера” (SVAT). Модель SVAT, в которой учитывается перемещение влаги в корневой зоне, предназначена для расчета суммарного испарения и профилей влажности и температуры почвы, а также температуры растительного покрова и влажности воздуха под пологом растительности для любого интервала времени в течение периода вегетации.

При расчетах по модели сезонного хода T_s (модельного аналога $T_{s,eff}$) использовались данные наблюдений для 6 агрометеорологических станций, находящихся на водосборе р. Сейм. Результаты прямых сравнений T_s и $T_{s,eff}$ показали, что в жаркие дни при низкой влажности верхнего слоя почвы эти различия могут достигать 3–3,5°C. В периоды, когда влагозапасы почвы были близки к насыщению, различия этих температур находились в пределах ошибки спутниковых оценок $T_{s,eff}$. Расчеты T_s по модели SVAT были выполнены на основе двух зависимостей LAI от морфометрических характеристик растительного покрова – задаваемой путем интерполяции данных фенологических наблюдений и при использовании связи LAI с $NDVI$. Сопоставление этих двух вариантов показало уменьшение значений T_s , полученных при использовании второй зависимости, по сравнению с результатами использования первой. Замена первой зависимости на сглаженную линейную зависимость для LAI , определенного по спутниковым данным, привела к нелинейной реакции модели при определении T_s .

Временные вариации содержания МГС атмосферы, полученные по данным интерпретации спектрометрических измерений нисходящего теплового ИК излучения

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

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

Проанализированы спектры нисходящего теплового ИК излучения, измеренные в Потсдаме (52,23°N, 13,04°E) в 1999 году Фурье-спектрометром EISAR Потсдамской Метеорологической Обсерватории. Спектральное разрешение прибора $\sim 0,5 \text{ см}^{-1}$, рассматриваемая спектральная область измерения – $700\text{--}1350 \text{ см}^{-1}$. В дни измерений примерно один раз в час в течение нескольких минут регистрировались 2–5 спектров, которые впоследствии осреднялись. На основе анализа спектрального поведения осредненного излучения и его среднеквадратичных вариаций были отобраны более 700

спектров, измеренных в период с января по сентябрь включительно, относящихся к случаям сравнительно безоблачной атмосферы.

Построены и проанализированы ковариационные матрицы измеренных спектров. Проведено моделирование измерений с помощью специально разработанной программы полинейного расчета излучения; рассчитана чувствительность излучения к вариациям содержания в различных слоях атмосферы таких МГС как H_2O , O_3 , N_2O , CH_4 , а также температурного профиля. Показано, что при наличии случайного шума измерений порядка $0,3 \text{ мВт/м}^2 \cdot \text{стер} \cdot \text{см}^{-1}$ рассматриваемым методом возможно уверенно определять 3–5 % вариации общего содержания (ОС) H_2O , 5–10 % вариации содержания тропосферного озона и ОС озона, 8–12 % вариации ОС N_2O и CH_4 .

Анализ ковариационных матриц ошибок дистанционных измерений МГС атмосферы показал, что потенциальная точность восстановления ОС H_2O составляет 2–5 %, тропосферного и ОС озона – 3–7 %, N_2O и CH_4 – 4–8 %. Проведено численное моделирование дистанционных измерений с целью проверки и уточнения итерационного алгоритма решения обратной задачи по восстановлению из спектрометрических измерений данных о различных атмосферных параметрах. Численные эксперименты подтвердили полученные на основе анализа матриц ошибок данные о точности дистанционного метода.

Проведена интерпретация всего ансамбля спектрометрических измерений. Получены новые данные по суточному и сезонному ходу содержания в атмосфере в районе Потсдама тропосферного озона, ОС H_2O , O_3 , N_2O и CH_4 . Данные по ОС водяного пара сопоставлены с независимыми данными микроволнового зондирования, продемонстрировано их хорошее соответствие в пределах погрешностей обоих методов. Данные по ОС озона сопоставлены с данными спутникового прибора TOMS, а также с данными наземных спектрофотометров Brewer и Dobson. Хорошее взаимное согласие всех независимых методов свидетельствует о высоком качестве рассматриваемого дистанционного метода наземного теплового зондирования атмосферы. В ряде случаев произведено сравнение данных по содержанию тропосферного озона с данными одновременного озонозондирования в Линденберге ($52,21^\circ \text{N}$, $14,12^\circ \text{E}$) в 80 км от Потсдама. Показано хорошее согласие различных типов измерений озона с учетом метеорологической обстановки. Данные по ОС метана сопоставлены с аналогичными данными, полученными в Петергофе ($59,58^\circ \text{N}$, $30,18^\circ \text{E}$) из спектров солнечного излучения, измеренных в НИИФ СПбГУ. Проанализированы возможные причины согласования и расхождения различных данных.

Данные по одновременному определению ОС H_2O , O_3 , N_2O и CH_4 , а также тропосферного озона рассматриваемым дистанционным методом получены впервые. Также впервые получен сезонный и суточный ход содержания тропосферного озона, ОС N_2O и CH_4 в районе Потсдама. Показано, что рассмотренный метод может быть использован как для независимых измерений ряда МГС атмосферы, так и для валидации других методов, в том числе спутниковых данных измерений.

Исследования загрязнения атмосферы крупных городов (Москва и Пекин) окисью углерода и аэрозолем с помощью оптических методов

Гречко Е.И. (grechko@omega.ifaran.ru), Джола А.В., Емиленко А.С., Фокеева Е.В.,
Копейкин В.М., Ван Генчен

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

В докладе приведены данные измерений содержания субмикронного аэрозоля, сажи и общего содержания окиси углерода в атмосфере над северной частью города Пекина, проводившиеся в течение ряда лет в период 1992–2000 гг. Оказалось, что для Пекина характерны высокие корреляции ($R = 0,8–0,9$) между содержаниями субмикронного аэрозоля и сажи. Корреляция между содержанием аэрозоля и общим содержанием окиси углерода

оказалась также высокой. Наблюдавшиеся в Пекине концентрации аэрозоля были стабильно высокими, хотя и не превосходящими значения для других городов, хотя в отдельные дни (при южном ветре и инверсии в нижнем 300 метровом слое воздуха) наблюдались уникально высокие концентрации аэрозоля.

С 1992 по 1999 концентрации сажи и аэрозоля росли, но в 2000 году они резко уменьшились (в 1,5 раза), что, возможно, связано с переводом систем отопления в Пекине с угля на газ. В противоположность этому, изменение общего содержания СО в 2000 году по сравнению с прежними годами оказалось незначительным.

Результаты измерений аэрозоля, сажи и окиси углерода в Пекине сходны с результатами измерений в Москве.

Многолетние спектрометрические измерения содержания NO₂ в нижней тропосфере на Звенигородской научной станции

Елохов А.С. (elokhov@mail.ru), Груздев А.Н. (a.n.gruzdev@mail.ru)

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

Анализируются данные измерений содержания двуокиси азота в приземном слое атмосферы на Звенигородской научной станции (ЗНС) Института физики атмосферы. Станция расположена в сельской местности в 50 км к западу от Москвы. Измерения начаты в марте 1990 г. и выполняются в утренние и вечерние сумерки в диапазоне солнечных зенитных углов 84°–96° по рассеянному из зенита солнечному излучению в видимой области спектра (435–450 нм) с помощью автоматизированного спектрофотометра на базе монохроматора МДР-23. Используемая методика позволяет восстанавливать вертикальный профиль NO₂ в слое 0–50 км и, в том числе, получать оценки содержания NO₂ в приземном слое атмосферы.

Анализ данных измерений показывает, что первостепенное влияние на содержание NO₂ в нижней тропосфере оказывают продукты антропогенного загрязнения атмосферы, источники которых находятся далеко за пределами окрестности ЗНС. Во время загрязнения нижней тропосферы двуокисью азота ее количество в тонком (обычно 100–200 м толщины) приземном слое часто многократно превышает интегральное содержание в 40-километровом столбе стратосферы, где находится максимум содержания NO₂ естественного происхождения. Интенсивность и частота загрязнений на ЗНС максимальны зимой и минимальны летом. Статистика загрязнений отлична от гауссовой и характеризуется, по сравнению с ней, очень большой вероятностью высоких значений приземного содержания NO₂. В спектрах содержания NO₂ в приземном слое на ЗНС выявлены, помимо годовой и суточной цикличностей, недельная цикличность и цикличность синоптического масштаба (3–5 суток).

Возможность использования спутниковых наблюдений вариаций коэффициента преломления для поиска динамически активных областей в атмосфере

Карпова Н.В. (nataly@lmura.phys.spbu.ru), Гаврилов Н.М.

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

Исследуется связь мезомасштабных динамических изменений характеристик атмосферы на мезомасштабные вариации показателя преломления атмосферы. Показано, что спутниковые наблюдения рефракции оптического излучения и радиоволн в атмосфере могут применяться для обнаружения зон повышенной интенсивности мезомасштабных движений на различных высотах. Приводятся примеры выявления зон повышенной динамической активности в тропо-стратосфере по спутниковым данным.

Автоматизированная система картографирования снежного покрова горных территорий Средней Азии по сканерным спутниковым изображениям

Кобилев Т.А. (kobilov@meteo.uz)

*Информационно-техническое управление «МЕТЕОИНФОСИСТЕМ» ГУ по гидрометеорологии,
ул. К. Максумова 72, 700052 Ташкент, Республика Узбекистан*

Одной из важнейших задач, необходимых для оценки водных ресурсов Средней Азии является задача картографирования изменений снежного покрова, которое необходимо для составления прогнозов талого стока бассейнов горных рек.

Спутниковая информация это достаточно эффективный инструмент для этих целей. Особенно это касается больших и труднодоступных речных бассейнов. Модель талого стока SRM, это одна из немногих моделей, которые используют данные дистанционного зондирования для получения информации о снежном покрове. В настоящее время модель талого стока SRM используется в Главгидромете РУз для составления прогнозов по ряду среднеазиатских горных бассейнов.

Модель SRM базируется на использовании градус–день фактора и требует ежедневной информации о температуре, осадках и распределении снежного покрова по высотным зонам. В этом контексте остро встает вопрос о точности распознавания снежного покрова по данным дистанционного зондирования. Для функционирования модели SRM необходимо производить прием и обработку спутниковой информации на протяжении всего периода снеготаяния, который продолжается примерно с марта по август месяц. В работе использовались данные AVHRR с МИСЗ серии NOAA. Результаты картографирования снежного покрова переносятся в соответствующую ГИС.

Работа описывает программные средства, разработанные для повышения точности картографирования снежного покрова и для оперативной обработки спутниковой информации. Особенностью системы является то, что она позволяет выполнять коррекцию яркостных характеристик изображений с использованием данных об освещенности рельефа местности, а также позволяет повысить точность дешифрирования на базе дополнительной информации об элементах подстилающей поверхности.

Актуальность работы вызвана тем, что отсутствие учета фактора освещенности приводит зачастую к серьезным ошибкам при дешифровке спутниковой информации. На базе разработанной методики и на базе современных геоинформационных технологий построено программное обеспечение, позволяющее проводить нормализацию яркостных характеристик спутниковых изображений с учетом освещенности рельефа. Использование дополнительной информации также позволяет существенно повысить точность распознавания различных объектов подстилающей поверхности.

Методика и пакет программ апробирован на задаче картографирования снежного покрова горных территорий Среднеазиатского региона.

Исследование вертикальных распределений содержания озона и неравновесных населенностей колебательных состояний молекул озона и углекислого газа в мезосфере на основе интерпретации данных эксперимента CRISTA

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

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

На основе интерпретации измерений спектров уходящего излучения горизонта атмосферы Земли в полосе поглощения озона 9,6 мкм (космический эксперимент CRISTA-1, ноябрь 1994 г.), получены вертикальные профили содержания озона, а также профили

колебательных температур состояний 001, 011, 002 молекул озона и состояния 00011 молекул углекислого газа в диапазоне высот 40–90 км для различных регионов земного шара. Определение атмосферных параметров осуществлялось на основе решения многопараметрической обратной задачи с использованием априорной информации различного рода, а также результатов определения температуры и давления по измерениям в полосе поглощения углекислого газа 15 мкм. Для анализа погрешностей восстановления различных атмосферных параметров приведены результаты численных экспериментов по решению обратной задачи по замкнутой схеме.

Исследованы пространственные и временные вариации содержания озона в мезосфере и профилей колебательных температур. Для большей части восстановленных профилей обнаружен рост отношения смеси озона в верхней мезосфере. Этот рост может быть очень значителен в ночных условиях. Проведено сравнение полученных значений колебательных температур с результатами модельных расчетов.

О видимости нефтяных пленок на поверхности воды из космоса

Левин И.М. (tavrida@mailbox.alkor.ru), Радомысльская Т.М., Савченко В.В.
Санкт-Петербургский институт океанологии им. П.П. Ширинова РАН, 1-я линия 30, 199053 Санкт-Петербург, Россия

Проблема лидарного дистанционного зондирования нефтяных пленок на поверхности океана была всесторонне исследована в работах В.Ю. Осадчего, К.С. Шифрина и И.Я. Гуревича (например, [1]). Было показано, что при зондировании в надир эффект гашения волнения пленкой приводит к увеличению яркости, так как в нефтяном слике больше перпендикулярных к излучению площадок, чем в незагрязненной поверхности. Соответственно, контраст пленка-вода для лидарного наблюдения всегда положительный (коэффициент отражения нефти больше, чем воды). В случае телевизионного или фотографического наблюдения пленок при естественном освещении картина существенно усложняется. В этом случае гашение волнения пленкой может как увеличить, так и уменьшить яркость отраженного излучения в зависимости от скорости ветра, зенитного угла Солнца и направления наблюдения. Соответственно, контраст может быть как положительным, так и отрицательным. Задача данной работы – проанализировать зависимость контраста от этих параметров с тем, чтобы получить возможность выбора оптимальной области спектра для наблюдения нефтяных пленок на поверхности при заданных условиях наблюдения.

Мы провели расчет контраста пленка-вода в спектральном диапазоне 300–800 нм при наблюдении из космоса при атмосфере различной мутности от $\tau_a = 0,07$ до $\tau_a = 0,4$ и зенитных углах Солнца от 20 до 45°. В качестве исходных данных использовались классические экспериментальные спектры диффузного коэффициента отражения моря Мореля и Прийера в видимой области спектра. Эти спектры интерполировались на УФ и ИК области и пересчитывались в спектры яркости океана на верхней границе атмосферы с помощью предложенных нами моделей коэффициентов яркости моря и атмосферной составляющей спутникового сигнала в соответствии с оптической моделью океанической атмосферы, разработанной в Лаборатории оптики океана и атмосферы Санкт-Петербургского филиала Института океанологии РАН.

Результаты расчетов показали, что для всех типов вод контраст при уходе в УФ область уменьшается и стремится к 0 при $\lambda \rightarrow 300$ нм из-за резкого возрастания атмосферной дымки при уменьшении длины волны. Максимальные значения контраста во всех случаях находятся в области спектра 600 – 700 нм, причем для зенитных углов Солнца 20°, как правило, контраст выше чем, для 45°. Поэтому во всех случаях предпочтение следует отдавать наблюдению при высоком Солнце. Контраст пленка-вода меняет знак при изменении скорости ветра и при изменении мутности атмосферы либо в длинноволновой, либо в

коротковолновой области спектра, но не одновременно по всему спектру. Следовательно, для избежания нулевых контрастов необходимо проводить наблюдения на менее чем в двух областях, например, при 600 – 700 нм и вокруг 450 нм. Абсолютная величина контрастов хотя бы в одном из участков спектра всегда достаточно велика, и можно утверждать, что при использовании нескольких спектральных каналов возможно наблюдение нефтяных пленок на поверхности воды при скоростях ветра от 6 до 20 м/с и зенитных углах Солнца от 0 до 45 градусов. При этом наибольшие значения контраста соответствуют более высоким скоростям ветра и более высокому Солнцу.

3. Osadchy V.Yu., Shifrin K.S., Gurevich I.Ya. The airborne identification of oil films at the Caspian sea surface using CO₂ lidar. *Oceanologia Acta*, 22, 1, 1999, .51-56.

К физической постановке задач дистанционного зондирования атмосферы в переходном между СВЧ и ИК-диапазоне волн

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

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

Изложены физические факторы, которые определяют возможности и особенности постановки задач дистанционного зондирования атмосферы в переходном между СВЧ и ИК-диапазоне волн (волновые числа 10–100 см⁻¹). В указанном участке спектра присутствуют линии молекулярного кислорода, водяного пара и малых газовых составляющих (МГС), при этом количество последних превышает 47 000. В докладе выполнен анализ расположения резонансов МГС относительно окон прозрачности рассматриваемого диапазона и условий формирования линий в центральной и периферической областях. Одна из особенностей коротковолновой части рассматриваемого диапазона состоит в том, что именно в этой области происходит изменение характера молекулярных соударений, которые оказывают существенное влияние на уширение соответствующих линий. В длинноволновой части субмиллиметрового диапазона (волновые числа менее 100 см⁻¹) спектральные линии формируются в основном под влиянием диабатических соударений, а при волновых числах более 100 см⁻¹ определяющая роль в этом процессе принадлежит уже адиабатическим соударениям. На высотах выше 60 км учитывалось уширение спектральных линий, обусловленное совместным воздействием молекулярных соударений и эффекта Доплера.

В докладе получены спектры поглощения и излучения системы "атмосфера–подстилающая поверхность", оптическая толщина атмосферы, высотные интервалы формирования излучения. Отметим также следующие характерные особенности излучения в менее исследованной спектральной области 50–100 см⁻¹. Уровни формирования уходящего излучения в этой области приходится на высоты более 12 км, при дальнейшем возрастании фонового поглощения для отдельных газовых компонент тенденция уменьшения интенсивности их спектральных линий, наметившаяся в области 10–50 см⁻¹, имеет место и в указанном участке спектра. Следствием значительного атмосферного поглощения является полное экранирование вклада подстилающей поверхности в общую интенсивность излучения диапазона 50–100 см⁻¹. Перечисленные обстоятельства ограничивают анализ возможностей дистанционного мониторинга газового состава атмосферы в рассматриваемой спектральной области высотами выше тропопаузы. В докладе на основе решения прямой задачи по определению спектральной и вертикальной структуры излучения атмосферы установлены оптимальные условия дистанционного зондирования ряда МГС в исследованном диапазоне спектра.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ – грант 00–05–64527.

Особенности дистанционного определения полной массы водяного пара при низких температурах

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

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

Для дистанционного определения интегрального влагосодержания Q атмосферы в настоящее время широко используются спектроскопические методы оптического диапазона, тепловые инфракрасные методы, включающие фурье-интерферометрию высокого спектрального разрешения, а также микроволновые методы, основанные на приеме и интерпретации собственного радиоизлучения атмосферы. В последнем случае радиометрические измерения атмосферного излучения обычно выполняются в области вращательного перехода водяного пара 5_1-6_5 с резонансной длиной волны 1,35 см. Оптическая толщина атмосферы, обусловленная водяным паром, в этой линии при стандартных условиях составляет $\sim 0,1$. Поскольку рассматриваемая линия является, с одной стороны, слабой линией, а, с другой стороны, она все-таки разрешается в спектре водяного пара, то радиоизлучение в ней формируется по всей толщине атмосферы и содержит, таким образом, информацию о полном интеграле водяного пара. Однако при малых значениях Q слабые линии H_2O просто перестают быть информативными для дистанционного зондирования. Между тем при малых влагосодержаниях атмосферы, которые сопровождаются низкими температурами, точность стандартных методов аэрологического зондирования значительно уменьшается и в этих условиях существенно возрастают возможности именно дистанционных методов, которые становятся единственно эффективными в подобных ситуациях. Положение спасает обилие линий во вращательном спектре водяного пара с различными интенсивностями. Некоторые сильные линии H_2O , приходящиеся на осваиваемый субмиллиметровый диапазон волн, при малых значениях Q становятся похожими по физическим свойствам на линию 1,35 см при стандартных условиях. Это обстоятельство составляет принципиальную основу дистанционного зондирования малых (и даже аномально малых) величин интегрального влагосодержания.

Оптимальные спектральные области дистанционного определения Q при низких температурах определялись из условий, что оптические толщины атмосферы τ в этих областях должны быть соизмеримы с соответствующей величиной в линии 1,35 см при стандартных метеопараметрах, а также, для обеспечения приемлемых точностей радиометрического зондирования, значения τ не должны превышать $\sim 0,3$. Дополнительное условие состояло в том, что выбранные для дистанционного зондирования спектральные области должны быть расположены вблизи резонансов H_2O , где уровни формирования радиоизлучения перекрывают высоты, на которых сосредоточена основная ($\sim 97\%$) часть массы водяного пара.

На основании проведенного анализа выделены оптимальные спектральные области для дистанционного зондирования полной массы водяного пара в исследованных климатических зонах – при зимних условиях Европейской территории России, Заполярья и Антарктиды. На основе статистического анализа эмпирических данных аэрологического зондирования параметров атмосферы в соответствующих климатических зонах получены точностные характеристики определения величины Q . Показано, что погрешности определения полной массы водяного пара при оптимальных условиях дистанционного зондирования, включая экстремальные геофизические условия, составляют $\sim 1,5-5\%$, что свидетельствует о высокой надежности радиометрического определения величины Q в широком интервале метеопараметров.

Работа выполнена при поддержке гранта Минобразования РФ Е 00–8.0–5.

Высокогорные спектрометрические измерения поглощения солнечной радиации столкновительными комплексами $O_2 \rightarrow O_2$

Никольский Г.А. (Genrik.Nikolsky@paloma.spbu.ru), Шашкин А.В.

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

Как показано в работе Соломон и др. (JGR, Vol.103, D4, 3847, 1998), сравнение натурных измерений потоков солнечной радиации в облачной атмосфере с расчетами по моделям свидетельствует, что модели не дают полного объяснения реального притока. Это означает, по-видимому, что пока имеются неизвестные компоненты поглощения солнечной радиации в атмосфере, которые не были включены в модель, и (или), что лабораторные данные относительно коэффициентов поглощения O_4 недостаточно точны.

В октябре 2001 мы выполняли измерения спектральной оптической толщины атмосферы в области полос поглощения комплексов $O_2 \rightarrow O_2$. Измерения были выполнены в полевых условиях на аппаратуре отдела физики атмосферы СПбГУ, установленной вблизи Горной астрономической станции Главной Астрономической Обсерватории РАН "Солнечная" (около Кисловодска). Поставленная задача была решена с помощью автоматического спектрального комплекса, в структуру которого входит спектрометр "ДН-10 UV" со спектральным разрешением $\sim 5 \text{ \AA}$. С 3 до 28 октября 2001 г. при его помощи были получены более чем 500 спектров прямой солнечной радиации в диапазоне 400–650 нм. Измерения были выполнены в дни с хорошей оптической погодой фактически непрерывно по способу "от восхода солнца до заката". Для расчетов оптической толщины была применена оптимизированная методика, основанная на последовательном применении длинного и короткого методов Бугера. Для исключения искажения результатов за счет появления облаков, сбоев в системе слежения за Солнцем (при пролетах орлов) и других факторов, каждый спектр был проанализирован индивидуально с использованием специальной методики, исключающей также и влияние фраунгоферовых линий.

Особенности спектрального хода оптической толщины атмосферы полностью совпадают с моделированной структурой полос поглощения $O_2 \rightarrow O_2$. Однако, для идеального параллелизма измеренных значений оптической толщины в полосах поглощения O_4 с результатами моделирования, лабораторные коэффициенты спектрального поглощения должны быть увеличены приблизительно вдвое. Остающиеся особенности спектрального хода связаны с поглощением водяного пара, кислорода и, вероятно, с поглощением других столкновительных комплексов. Например, слабая полоса 504–512 нм. На общем ходе остаточной толщины в областях наиболее существенных полос поглощения O_4 заметны "припухлости" квази-континуума. Минимальные значения остаточной толщины найдены вблизи 620 нм ($\sim 0,002$). На 400 нм остаточная (аэрозольная) толщина достигает 0,04. Эти данные получены при высокой прозрачности атмосферы выше уровня 2100 м.

Лабораторное исследование переноса излучения и изображения поверхностью воды, покрытой высокочастотным ветровым волнением

Осадчий В.Ю., Левин И.М. (tavrida@mailbox.alkor.ru), Савченко В.В., Французов О.Н.

Санкт-Петербургский институт океанологии им. П.П. Ширикова РАН, 1-я линия 30, 199053 Санкт-Петербург, Россия

Исследование влияния взволнованной водной поверхности на формирование световых полей и перенос изображения в системе атмосфера–океан является одной из главных задач оптики океана, в особенности в связи с быстрым развитием дистанционных методов зондирования морской среды. Для дистанционных методов наиболее существенна роль волн капиллярного и гравитационно–капиллярного диапазонов волнового спектра в трансформации световых потоков и изображения. Это связано с наибольшей

чувствительностью коротковолновой части морского волнения к воздействию различных возмущений: флуктуаций скорости ветра, воздействию течений, турбулентности, появлению пленок на поверхности и т.п. В связи с этим представляется оправданным экспериментальное изучение переноса излучения и изображения на лабораторном бассейне, поскольку генерация и измерение параметров высокочастотного ветрового волнения в этом случае не представляет непреодолимых технических трудностей.

В настоящей работе приведен ряд результатов исследований на лабораторно-модельной установке (ЛМУ) СПб ФИОРАН. В состав установки входит небольшой бассейн с площадью водной поверхности 1,15 м x 1,55 м, что позволяет генерировать ветровым волнопродуктором волнение с параметрами, подобными таковым для высокочастотной области реального морского волнения. Установка оборудована комплексом устройств и аппаратуры для наблюдения объектов сквозь толщу воды и поверхность, а также для измерения характеристик световых потоков, отраженных и преломленных взволнованной поверхностью (источники света с различными характеристиками, фотоприемники, лазерная система измерения геометро-статистических характеристик, телевизионная система с цифровой обработкой изображений). Параметры волнения для разных скоростей воздушного потока измеряются системой контактных волнографов. ЛМУ более подробно описана, например, в [1]. Телевизионная система используется в двух качествах: как средство для исследования процесса переноса изображения поверхностью и как инструмент для измерения некоторых характеристик волнения (например, плотности вероятности уклонов).

В представляемом цикле работ исследовалась роль пространственных и временных масштабов осреднения в процессе формирования телевизионных изображений подводных объектов и в определении характеристик световых полей над взволнованной водной поверхностью. Измерялись дисперсии, коэффициенты вариации, автокорреляционные функции яркости изображения в его произвольных точках. Из измеренных характеристик изображения подводного самосветящегося источника света предельно малого размера получена плотность вероятности уклонов взволнованной поверхности. Измерены спектры флуктуаций интенсивности светового потока, отраженного поверхностью в зависимости от площади отражающей поверхности и скорости воздушного потока. Измерены частотно-контрастные характеристики (ЧКХ) системы: подводный объект+толща воды+взволнованная поверхность. Получено хорошее согласие определения вклада разных компонент системы в суммарную ЧКХ с теорией [2].

1. Osadchy V., Levin I., Savtchenko V., and Frantsuzov O. Laboratory-modelling installation for study of light and image transfer through wavy sea surface. In: Physical processes in natural waters. Irkutsk, Russian Academy of Science (Siberian branch), 2000, 68 – 71.
2. Mullamaa U.-A.R. On influence of roughness of the sea surface on the visibility of underwater objects. *Izv. Atm. Ocean Phys.*, 11, 2, 1975, 199-206.

Анализ точности восстановления вертикальных распределений озона и двуокиси азота по наземным наблюдениям с учетом многократного рассеяния в весовых функциях задачи

Постыляков О.В. (ovp@omega.ifaran.ru)

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

Митин И.В.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Воробьевы Горы, 119899 Москва, Россия

На сетях спектрофотометров Добсона и Брюера для определения вертикального распределения озона (ВРО) используется метод обращения. Стандартный алгоритм восстановления ВРО использует приближенную схему учета многократного рассеяния. Она состоит в следующем. Зависимость регистрируемого излучения от ВРО линейаризуется в точке, соответствующей среднему значению ВРО. С учетом многократного рассеяния

рассчитывается значение интенсивности излучения в точке линеаризации. Однако, производные по векторному параметру – ВРО, в иной терминологии называемые весовыми функциями (ВФ), оцениваются в приближении однократного рассеяния. Упрощенная схема учета многократного рассеяния приводит к возрастанию ошибок восстановления ВРО, на что впервые было обращено внимание в работе [1].

Ранее авторами был разработан новый расширенный Umkehr метод определения ВРО. Для второго этапа модернизации Umkehr алгоритма восстановления ими была подготовлена модель переноса радиации в сферической атмосфере с учетом всех порядков рассеяния с возможностью эффективного расчета как интенсивностей излучения, так и ВФ для использования в обратных задачах. Модель основана на методе Монте-Карло, учитывает поляризацию и альбедо подстилающей поверхности.

Было выполнено численное сравнение точности алгоритмов, использующих при восстановлении приближенные ВФ, рассчитанные для однократного рассеяния, с алгоритмами, основанными на точных ВФ, учитывающих все порядки рассеяния. Интенсивности в обоих случаях рассчитывались для всех порядков рассеяния. Показано, что более точные ВФ дают более точные оценки ВРО не только ниже 15–20 км, где существенно многократное рассеяние, но и на всех высотах, а также лучшие оценки общего содержания. Новый расширенный Umkehr алгоритм более чувствителен к погрешностям модели переноса радиации, по сравнению со стандартным. Тем не менее, при использовании точных ВФ ошибки нового алгоритма меньше, чем ошибки стандартного алгоритма. В частности, в этом случае новый алгоритм уменьшает ошибку восстановления в 1,5–2 раза ниже 20 км.

При определении содержания NO_2 по зенитным наблюдениям с земли спектра рассеянного излучения вблизи 450 нм, в настоящее время также используются весовые функции, рассчитанные в приближении однократного рассеяния. Авторы выполнили расчет ВФ с учетом всех порядков рассеяния. Приближенные ВФ недооценивают точные ВФ ниже 20 км и переоценивают их выше 30 км для всех используемых зенитных углов Z от 84° до 96° . При всех зенитных углах отличие достигает максимума между 5 и 10 км. При $Z = 84^\circ$ разность достигает в этой области - 30%, а при $Z = 96^\circ$ величины - 70%. Между 20 км и 30 км приближенные ВФ дают более 95% значения точных ВФ для зенитных углов меньших 93° . Однако, отличие возрастает до - 25% на $Z = 96^\circ$. Приближенный расчет имеет пренебрежимое отличие от точного выше 30 км до углов $Z = 93^\circ$, но разность возрастает до + 20% на $Z = 96^\circ$.

Основываясь на результатах сравнения ВФ, можно предположить общие черты влияния приближенных расчетов ВФ на точность восстановления NO_2 . При восстановлении общего содержания NO_2 используются зенитные углы меньше 94° , а максимум содержания NO_2 приходится на зону наибольшей точности приближенных вычислений, поэтому можно ожидать, что уменьшение точности из-за приближенного оценивания ВФ ограничено несколькими процентами. Исключение составляют случаи с повышенным содержанием NO_2 в тропосфере, когда приближенные ВФ могут существенно исказить результат восстановления. При восстановлении профиля содержания используются углы до $Z = 96^\circ$, из-за чего большое отличие ВФ может дать сдвиг до нескольких десятков процентов даже выше 30 км.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 01–05–64546.

1. Elansky N.F., O.V. Postlyakov. The extended Brewer Umkehr algorithm for ozone profile retrieval: an improved approach to multiple scattering consideration. *Proc. Quadr. Ozone Symp., Sapporo, Japan, 3-8 July 2000*, 359-360.

Контраст яркости нефтяных пленок с различными оптическими константами на поверхности воды

Савченко В.В., Левин И.М. (tavrida@mailbox.alkor.ru), Осадчий В.Ю., Сергель О.С.
Санкт-Петербургский институт океанологии им. П.П. Ширинова РАН, 1-я линия 30, 199053 Санкт-Петербург, Россия

Контраст яркости нефтяных пленок в отраженном свете на поверхности воды в отсутствие подсветки излучением, выходящим из водной толщи, достаточно подробно был исследован в ряде работ В.Ю. Осадчего, К.С. Шифрина и И.Я. Гуревича (обобщение работ содержится, например, в [1]). Упомянутыми авторами было замечено, что в окрестности длины волны $\lambda = 3,4$ мкм показатели преломления воды и нефти близки по величине, а в ряде случаев равны. Это означает равенство коэффициентов отражения и, следовательно, нулевой контраст для случая сравнения яркостей воды и оптически толстой нефтяной пленки. Для взволнованной водной поверхности контраст определяется двумя эффектами: отличием коэффициентов отражения воды и нефти и сглаживанием волнения пленкой. Оценка вклада этих эффектов в суммарный контраст вызывает трудности. Наличие отмеченной выше особенности оптических констант нефти и воды вблизи $\lambda = 3,4$ мкм позволяет предложить метод разделения двух эффектов с использованием зондирования поверхности в двух спектральных интервалах, один из которых близок к $\lambda = 3,4$ мкм, а другой лучше всего должен попадать в область наибольшего контраста вблизи $\lambda = 10,6$ мкм. Очевидно, что этот метод должен работать при наличии оптически толстых пленок на поверхности, при этом точность выделения эффекта сглаживания будет определяться разбросом показателей преломления нефтей различного происхождения, поскольку априори, как правило, оптические константы нефтепродуктов в конкретном районе зондирования не известны. При наличии оптически тонких (прозрачных для зондирующего излучения) пленок применимость предлагаемого метода для выделения эффекта сглаживания становится неясной. Для оценки возможностей обсуждаемого метода нами были проведены расчеты контраста яркости тонких нефтяных пленок на гладкой водной поверхности в спектральном интервале от 3,2 мкм до 3,5 мкм.

Исследована зависимость контраста от толщины пленки и сорта (происхождения) образующих пленку нефтей и, следовательно, от вида спектров оптических констант этих нефтей. Контрасты оказались сильно зависящими от толщины пленки и принимающими как положительные, так и отрицательные значения, в ряде случаев достигающими значений порядка 60%. Таким образом, применение двухволнового метода выделения эффекта сглаживания при наличии на поверхности оптически тонких пленок пока представляется проблематичным. Это связано прежде всего с тем, что вследствие естественного разброса спектров оптических констант разных нефтей трудно определить с достаточной точностью длину волны, на которой показатели преломления нефти и воды совпадают и контраст перестает зависеть от толщины пленки. Небольшое отклонение от этой длины волны приводит к резким изменениям контраста.

1. Osadchy V.Yu., Shifrin K.S., Gurevich I.Ya. The airborne identification of oil films at the Caspian sea surface using CO₂ lidar. *Oceanologia Acta*, 22, 1, 1999, 51-56.

Численное моделирование дистанционных измерений вертикального распределения озона в атмосфере по данным спутниковых ИК зондировщиков высокого спектрального разрешения

Успенский А.Б. (uspensky@imp.kiae.ru)

НИЦ ПЛАНЕТА, Б. Предтеченский 7, 123242 Москва, Россия

Романов С.В. (romanov@imp.kiae.ru)

РНИЦ Курчатовский Институт, НТК Системный Анализ, пл. Курчатова 1, 123182 Москва, Россия

Выполнен анализ информативности данных измерений перспективного ИК зондировщика IASI (Европейский полярно-орбитальный метеоспутник МЕТОР, 2005 г.) высокого спектрального разрешения по отношению к параметрам вертикального распределения озона в атмосфере. Получены теоретические оценки точности и вертикального разрешения результатов зондирования профиля озона в зависимости от уровня инструментального шума, качества априорной информации. Предложена двухэтапная процедура «обращения» спутниковых измерений и восстановления вертикальных профилей отношения смеси озона $q(z)$, включающая последовательное применение линейной регрессионной оценки и численное решение обратной задачи. На обоих этапах используется малопараметрическое представление профиля $q(z)$ – разложение по ЭОФ. Массовые численные эксперименты на моделированных данных ИК зондировщика IASI подтверждают работоспособность предложенного подхода. При реалистическом уровне инструментального шума относительная погрешность восстановления профиля $q(z)$ в слое 18–40 км не превышает 10% для средних широт и тропической зоны. Для высоких широт (Арктика) погрешность возрастает.

Оценка погрешностей восстановления элементов вертикального профиля СО из высокоразрешенных ИК спектров солнечной радиации

Чайка А.М., Косцов В.С. (vald@troll.phys.spbu.ru), Поберовский А.В.

НИИ Физики Санкт-Петербургского Государственного Университета, Ульяновская ул. д.1, 198504 Санкт-Петербург - Петродворец

Проведено численное исследование погрешностей восстановления элементов вертикального профиля СО в атмосфере по наземным измерениям ИК солнечного спектра. Получены оценки погрешностей для двух- и трехслойной атмосферы и общего содержания СО. Для определения содержаний СО и анализа их погрешностей использовались вычисленные спектры в диапазоне 2057,7–2159 см^{-1} с разрешением от 0,03 до 0,003 см^{-1} , шумом от 0,1 до 1% и несколькими видами аппаратной функции. Расчет проводился для высот наблюдений 0 км и 2,5 км.

Получено, что при разрешении 0,01 см^{-1} и шуме 0,5%, для двухслойной атмосферы (0–7,5; 7,5–70 км) содержание в слоях может быть определено с погрешностью 3% и 9%, в случае трехслойной атмосферы (0–7,5; 7,5–17,5; 17,5–70 км) – 3, 10 и 26%, соответственно. Для высоты наблюдения 2,5 км и двухслойной атмосферы (2,5–7,5; 7,5–70 км) – 3 и 5% и для трехслойной атмосферы (2,5–7,5; 7,5–17,5; 17,5–70 км) – 3, 6, 23%. При спектральном разрешении 0,03 см^{-1} величины погрешностей возрастают в 1,5 раза и для спектрального разрешения 0,003 см^{-1} уменьшаются примерно в 1,3 раза.

Общее содержание СО определяется с точностью 1,5% при спектральном разрешении 0,01 см^{-1} , 2,5% при 0,03 см^{-1} и 1% при 0,003 см^{-1} (шум 1%).

Влияние вариаций "мешающих" компонент – CO_2 , O_3 , H_2O , N_2O на погрешности определения содержаний СО оказалось несущественным.

СЕКЦИЯ 7. РАДИАЦИОННЫЕ АЛГОРИТМЫ В МОДЕЛЯХ ПРОГНОЗА ПОГОДЫ И КЛИМАТА

Председатель: д.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)

Моделирование процесса переноса излучения в облачной атмосфере в задачах прогноза погоды и изменения климата

Дмитриева-Арраго Л.Р. (dmitrieva@rhmc.mecom.ru)

Гидрометцентр России, Б. Предтеченский пер. 11-13, 123242 Москва, Россия

Моделирование процесса переноса излучения в гидродинамических моделях прогноза погоды и изменения климата основаны на информации и методах, разработанных в различных направлениях физической оптики, теории переноса излучения и физики атмосферы. Главная особенность построения радиационных алгоритмов для применения в гидродинамических моделях атмосферы состоит в том, что алгоритмы должны быть настроены на ограниченную информацию, которую может предоставить гидродинамическая модель. Объем этой информации зависит от количества уравнений модели, которые описывают эволюции параметров атмосферы. В результате решения системы уравнений модели рассчитывается пространственное распределение ветра, температуры, влажности, водности на различных уровнях в атмосфере. Облачность и осадки определяются с использованием диагностических соотношений. Для расчета потоков в современных моделях широко используют методы решения уравнения переноса в двухпоточковом приближении. В солнечном диапазоне используется метод дельта-Эддингтона. Этот метод позволяет учесть особенности процесса рассеяния в облаках. Алгоритмы состоят из двух частей – безоблачной и облачной. Описание переноса излучения в безоблачной атмосфере опирается на данные о составе атмосферы и спектроскопическую информацию об особенностях поглощения различными атмосферными газами с учетом неоднородности атмосферы. С помощью этой информации рассчитываются коэффициенты поглощения влияющих газов, относящиеся к отдельным линиям, полосам и широким спектральным интервалам. Кроме характеристик влажности на перенос излучения в солнечном и тепловом диапазоне спектра влияют углекислый газ и озон. Однако пространственное распределение этих газов задается средними или климатическими значениями. Многие современные модели содержат физические алгоритмы, включающие описания микрофизических процессов в облаках с различной степенью детальности (Гидрометцентр России, ЕЦСПП, институт Макса Планка). Эти алгоритмы позволяют получать эволюцию характеристик, влияющих на перенос излучения в облаках. К ним относятся функция распределения частиц облака по размерам, средние радиусы, концентрация частиц, фазовое состояние. Рассчитанные по модельным данным потоки и притоки излучения используются в качестве источников в уравнении притока тепла, наряду с теплом конденсации и турбулентным притоком тепла. Отличие радиационного источника энергии атмосферных движений от других видов энергии заключается в том, что радиационный приток является постоянно действующим фактором во всей толще атмосферы. Поскольку облака вносят существенную перестройку в вертикальное распределение радиационных притоков тепла по сравнению с безоблачными условиями, то учет эволюции оптических свойств облаков представляет собой задачу не менее важную, чем вычисление других видов притока тепла в атмосфере. В связи с этим важнейшей частью алгоритмов расчета радиационных характеристик атмосферы является описание механизма взаимодействия излучения с облаками. Современное состояние

методов, применяемых в моделях, определяется наличием информации о микрофизических характеристиках облаков (водность, функция распределения частиц облака по размерам, фазовое состояние). Методы расчета оптических свойств облаков, предложенные в классических работах К.С. Шифрина (1951) и ван де Хюлста (1957), широко используются до настоящего времени в российских и зарубежных исследованиях.

В докладе уделено внимание проблеме точности вычисления радиационных характеристик атмосферы в зависимости от вариаций метеорологических, микрофизических и оптических параметров, используемых в радиационных алгоритмах. Большую роль в создании радиационных алгоритмов играет сравнение построенных параметризаций с расчетами, выполненными с помощью точных методов и измерениями. В докладе рассмотрены различные варианты сравнения приближенных методов параметризации переноса излучения, включая сравнение с полинейными расчетами потоков и спутниковыми измерениями.

В заключении предполагается обсудить дальнейшее развитие радиационных алгоритмов с учетом развития различных направлений оптики и физики атмосферы, имеющих отношение к рассматриваемому вопросу.

Воспроизведение радиационных потоков на границах атмосферы в климатических моделях

Спорышев П.В. (pvs@main.mgo.rssi.ru), Мелешко В.П., Говоркова В.А., Павлова Т.В.
Главная Геофизическая Обсерватория им. А.И. Воейкова, Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

В докладе представлены результаты сравнения радиационных потоков на верхней границе атмосферы и на земной поверхности, полученные по данным наблюдений и по результатам экспериментов с моделями общей циркуляции атмосферы (ОЦА). Для сравнения использовались результаты моделирования, выполненного с 19 атмосферными моделями в рамках международного проекта сравнения моделей ОЦА АМIP. Интегрирование модельных уравнений выполнялось на срок с 1979 по 1995 г. с наблюдаемой температурой Мирового океана. При сравнении анализировалось качество модельного воспроизведения радиационных потоков, типичные ошибки свойственные большинству моделей и возможные пути их устранения. Особое внимание уделялось результатам модели ОЦА ГГО.

Оценки потенциалов глобального потепления, обусловленные выбросами антропогенных газов по сценариям IPCC-2001

Фролькис В.А. (vfrolkis@vaf.abu.spb.ru)
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2-ая Красноармейская 4, 198005 Санкт-Петербург, Россия

Кароль И.Л., Киселев А.А.
Главная Геофизическая Обсерватория им. А.И. Воейкова, Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

Обсуждается методика вычисления абсолютного потенциала глобального потепления (AGWP) и потенциала глобального потепления (GWP). Рассматриваются антропогенные выбросы на фоне различных химических составов атмосферы, соответствующих 1995, 1780 и 2050 г.г. Исследуется чувствительность AGWP и GWP к различным факторам. Показано, что величины GWP и AGWP, нормированные на массу выброса, нелинейно зависят от объема выброса и от фонового состава атмосферы. При больших выбросах AGWP и GWP стремятся к асимптотическим значениям.

Рассматриваются различные сценарии антропогенных выбросов, приведенные в IPCC-2001. На основе климатической радиационно-фотохимической модели оцениваются GWP и AGWP, обусловленные выбросами основных парниковых газов в рамках этих сценариев. Получены оценки AGWP и GWP для выбросов CO₂, CH₄, N₂O, NO_x, CO, а также CFCs и

Halons. Исследуются суммарные выбросы всех антропогенных газов. Приводятся сопутствующие оценки вклада озона в GWP и AGWP при антропогенных выбросах. Радиационный форсинг вычисляется на основе модели спектральных полос, а химический состав атмосферы моделируется на основе нестационарной фотохимической модели, включающей в себя 42 компоненты и 141 газо-фазовую реакцию.

Аэрозольный радиационный форсинг в безоблачных условиях по данным зимнего Звенигородского эксперимента 2001 года

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

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

Аэрозольный радиационный форсинг (АРФ) в коротковолновой области спектра оценивается в безоблачной атмосфере по материалам зимнего облачного аэрозольного радиационного эксперимента, проводимого на Звенигородской научной станции института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН в феврале–марте 2001 года. АРФ характеризуется разницей между эффективными потоками солнечного излучения, рассчитанными с учетом аэрозольной компоненты атмосферы и без её учета. Погрешность расчета интегральных коротковолновых потоков в безоблачных условиях составляет около 1%. Для расчета потоков используются данные измерений наземных метеорологических параметров (температура, влажность, давление), данные аэрологического зондирования (г. Долгопрудный, 14.30), данные оптических параметров приземного аэрозоля на длине волны $\lambda = 0,55$ мкм (коэффициенты рассеяния, поглощения, средний косинус индикатрисы рассеяния, осредненные за период с 12.30 по 15.00 часов), а также осредненные за указанный выше интервал времени величины оптической толщины аэрозоля ($\lambda = 0,55$ мкм). Спектральное распределение коэффициентов ослабления приземного аэрозоля задается посредством полученного из спектрофелометрических измерений показателя Ангстрема. Высотное распределение оптической толщины аэрозоля осуществляется следующим образом: в приземном слое атмосферы используются непосредственно данные измерений, а выше – характеристики континентальной модели аэрозоля WCP-112. Величины АРФ, полученные в зимних условиях в период времени от 14.00 до 15.00 часов при альбедо подстилающей поверхности равном 0,4, показывают, что аэрозольные слои уменьшают приток солнечной энергии на земную поверхность ($-19 \text{ Вт/м}^2 \leq \text{АРФ}(0) \leq -5 \text{ Вт/м}^2$). При этом система поверхность-атмосфера может как выхолаживаться так и нагреваться ($-0,2 \text{ Вт/м}^2 \leq \text{АРФ}(\infty) \leq 3,0 \text{ Вт/м}^2$), вся толща атмосферы нагревается ($6 \text{ Вт/м}^2 \leq (\text{АРФ}(\infty) - \text{АРФ}(0)) \leq 20 \text{ Вт/м}^2$). Степень аэрозольного эффекта на радиационный баланс определяется, главным образом, величиной альбедо однократного рассеяния аэрозоля, величиной альбедо поверхности и, безусловно, величиной оптической толщины аэрозоля.

Взаимодействие солнечного излучения с крупномасштабной облачностью в моделях прогноза погоды

Шатунова М.В. (shatunova@rhmc.mecom.ru)

Гидрометцентр России, Б. Предтеченский пер. 11-13, 123242 Москва, Россия

Точность воспроизведения радиационных характеристик атмосферы в рамках гидродинамических моделей в значительной мере зависит от методов учета оптических характеристик облаков. Существующие в настоящее время методы описания взаимодействия радиации и облачности при расчете потоков излучения позволяют рассчитывать оптические характеристики облаков в зависимости от их микрофизических свойств. Эти методы основаны на теории Ми и представляют собой параметрические зависимости оптической толщины, вероятности выживания кванта и параметра вытянутости индикатрисы рассеяния

от водности, ледности и размеров облачных частиц. Разработан метод расчета потоков солнечного излучения на основе решения уравнения переноса в двухпоточковом приближении с использованием аппроксимации дельта-Эддингтона. Алгоритм взаимодействия радиации и облачности основан на приближенных формулах для вычисления коэффициентов ослабления и поглощения облаков, полученных В.И. Хворостьяновым [1]. Для исследования влияния метода описания радиационно-облачного взаимодействия на радиационные характеристики атмосферы проведены численные эксперименты. Выполнено сравнение потоков излучения, рассчитанных с учетом разных методов описания взаимодействия солнечного излучения с облаками (ЕЦСПП, [2]; [3]). Кроме этих методов был рассмотрен случай, когда оптические свойства облаков были заданы постоянными величинами. Пространственное распределение количества облаков и их микрофизических свойств было рассчитано с помощью модели преобразования влаги в атмосфере, разработанной в Гидрометцентре России под руководством Л.Р.Дмитриевой-Арраго [4]. Различия в потоках, обусловленные разными методами описания взаимодействия, находятся в пределах 60 Вт/м^2 , при этом расхождения в притоках составляют 1–2 град/сутки. Максимальные расхождения величин потоков, как и ожидалось, получены при задании оптических свойств облаков постоянными величинами. В этом случае расхождения в радиационных балансах на подстилающей поверхности с алгоритмом Гидрометцентра России достигают 150 Вт/м^2 в условиях сплошной облачности при значении интегрального водосодержания столба атмосферы $\sim 1 \text{ г/м}^2$. При этом различия в альбедо системы Земля–атмосфера составляет 25%. В облачной атмосфере существенное влияние на радиационные характеристики оказывает точность расчета количества облаков и их вертикального распределения. Были выполнены оценки влияния на потоки излучения различий в количестве облаков, рассчитанных разными методами. Разность в потоках составила около 70 Вт/м^2 при различии в количестве общей облачности 2–3 балла.

1. Хворостьянов В.И. К расчету коэффициентов рассеяния и поглощения коротковолновой радиации в облаках. *Труды УкрНИИ*, 178, 1980.
2. Slingo, A. A GCM parameterization for the shortwave radiative properties of water clouds. *J.Atmos.Sci.*, 46, 1989.
3. Rockel, B., E. Raschke, B. Weyres. A parameterization of broad band radiative transfer properties of water, ice and mixed clouds. *Beitr.Phys.Atm.*, 64, 1991.
4. Дмитриева-Арраго Л.Р., Акимов И.В. Метод расчета количества жидких неконвективных осадков на основе гидродинамического прогноза полей влажности и водности с учетом параметризации микрофизики облаков. *Метеорология и гидрология*, 11, 1998.

Влияние космических лучей на погоду и климат

Козин И.Д., Федулина И.Н., Мандровская Е.А. (inna@fedul.almaty.kz)

Институт ионосферы Министерства образования и науки РК, Каменское плато, 480020 Алма-Ата, Республика Казахстан

Основной поставщик энергии в атмосферу – это электромагнитное излучение Солнца (ЭМИС) в диапазоне 0,4 - 0,7 мк, поглощаемое на уровнях стратосферы и тропосферы молекулами озона и воды. Вариации этого излучения для существующих типов возмущений солнечной активности (СА) не превышают сотых долей процента. Значит, оно само не может оказаться источником внезапных атмосферных возмущений. Поэтому в последние десятилетия ведутся поиски несолнечных причин изменений погоды и климата. Из большого количества факторов, влияющих на погодные и климатические условия, наибольшие споры вызывает роль космических лучей (КЛ).

С одной стороны, накоплен значительный экспериментальный материал, указывающий на существование положительной корреляции между вариациями потока КЛ и различными метеорологическими параметрами, такими как облачность, интенсивность выпадения осадков, интенсивность приходящей к поверхности ЭМИС, атмосферная циркуляция и т.п.

С другой стороны, предпринятые рядом авторов попытки объяснения атмосферных возмущений непосредственным воздействием КЛ не увенчались успехом. Основной причиной неудач является малая энергетика самого потока КЛ.

В докладе показано, что концентрации молекул озона и воды через ионизационные и диссоциативные процессы, а также образование облачности через конденсационные процессы, связанные с гидратированными ионами, подчиняются законам изменения интенсивности КЛ и, являясь компонентами, поглощающими ЭМИС, определяют форму высотного профиля температуры. На конкретных примерах показано, что в минимуме 11-летнего цикла СА интенсивность КЛ наибольшая и поэтому стратосфера имеет повышенную, а тропосфера пониженную температуру. В периоды высокой СА и при Форбуш-эффектах картина противоположная. Рассмотрена планетарная динамика 30-миллибарного геопотенциала для марта 1987 года, когда наблюдалась серия Форбуш-понижений интенсивности КЛ. Вариации оказались весьма сложными и разнообразными. Делается заключение о том, что наблюдения в стационарных пунктах за эффектами в атмосфере при возмущениях КЛ могут иметь противоречивый характер.

Приведенный механизм воздействия КЛ на погоду и климат дает основания к расширению исследований. К ним можно отнести исследования стратосферных потеплений, спорадической зимней аномалии поглощения радиоволн, таяния снегов, уровня воды в реках, частоты и мощности выпадаемых осадков и многое другое. Не исключены исследования возможности искусственного образования облаков и выпадения осадков.

Физико-статистическое моделирование глобальной и региональных среднегодовых температур приземного слоя воздуха на основе модели теплосодержания атмосферы и гидросферы Земли с учетом солнечной активности. Прогноз глобального похолодания климата в 21 веке и его региональных последствий для Восточной Европы

Хорозов С.В., Будовый В.И., Медведев В.А. (hsoft@baltnet.ru)
ООО «Фирма HSoft», Севастьянова 19-12, 236040 Калининград, Россия

Белоголов В.С. (vladimir.belogolov@mstu.edu.ru)
Технический университет, Спортивная 13, 183010 Мурманск, Россия

Построены модели теплосодержания атмосферы-гидросферы и глобальной среднегодовой приземной температуры на основе уравнений теплового баланса верхних слоев Земли. Параметры моделей определялись с учетом 300-летнего ряда наблюдений чисел Вольфа и 120-летнего ряда наблюдений глобальной среднегодовой температуры.

Построены модели региональных среднегодовых приземных температур на основе модели теплосодержания верхних слоев Земли и имеющихся рядов метеорологических наблюдений. Разработана методика построения таких моделей.

Модели среднегодовых приземных температур хорошо объясняют глобальное потепление, происходившее в 20-ом веке, и годовые колебания температур на фоне общего тренда потепления. Моделирование изменений среднегодовых приземных температур во втором и третьем тысячелетиях (на основе вероятного сценария развития солнечной активности) показывает, что в первой половине 21-го века глобальное потепление должно смениться глобальным похолоданием. Эта тенденция в 23-ем веке может закончиться «малым ледниковым периодом» аналогичным наблюдавшемуся в Европе в 15–18 веках.

Проведен анализ и обобщение экстремальных погодных явлений, представленных в российских исторических документах прошедшего тысячелетия. На основе этого анализа и построенных моделей составлен прогноз возможных последствий похолодания в Восточной Европе в 21-ом веке.

База данных “Численная радиационная модель однослойной разорванной облачности” доступная в сети Интернет

Анисимова Е.М. (aem@iao.ru), Журавлева Т.Б.

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

В работе [1] предложен подход к параметризации потоков коротковолновой радиации в горизонтально неоднородных облаках, основанный на использовании в качестве параметра эффективного балла облачности N_e . Согласно этому подходу, вычисление восходящих и нисходящих потоков солнечного излучения на любых атмосферных уровнях сводится к расчету потоков излучения в условиях сплошной облачности и ясного неба, взвешенных с множителями N_e и $(1-N_e)$, соответственно. Потоки коротковолновой радиации в горизонтально однородной атмосфере могут быть эффективно рассчитаны на основе современных радиационных кодов. Поскольку между эффективным количеством облаков в коротковолновой (N_e^{sw}) и видимой (N_e^{vis}) области спектра существует простая функциональная зависимость, задача расчета радиационных характеристик сводится к вычислению N_e^{vis} . Ввиду того, что эффективные способы расчета N_e^{vis} отсутствуют, для определения эффективного количества облаков в широком диапазоне облачных параметров и условий освещенности разработана численная модель N_e^{vis} .

Основой численной модели является база данных, которая включает в себя: (а) результаты расчетов потоков восходящего и нисходящего излучения (видимый диапазон) на различных атмосферных уровнях z и (б) значения N_e^{vis} для широкого диапазона входных параметров задачи. Входными параметрами являются: оптическая толщина облаков τ , балл облачности N , параметр $\gamma = H/D$, где H – геометрическая толщина облаков, D – характерный горизонтальный размер облаков, $\xi_\oplus$ – зенитный угол Солнца, A_s – альbedo подстилающей поверхности. Потоки восходящей и нисходящей радиации рассчитаны на различных атмосферных уровнях $z = 0 \div 16,0$ км (облачный слой расположен в интервале 1–1,5 км) для следующих интервалов значений входных параметров (со специально подобранным шагом по каждому из них): балл облачности $N = 0 \div 1,0$; параметр $\gamma = 0 \div 2,0$; зенитный угол Солнца $\xi_\oplus = 0 \div 80^\circ$; оптическая толщина облаков $\tau = 5 \div 60$; альbedo подстилающей поверхности $A_s = 0 \div 0,9$. Значения N_e^{vis} при промежуточных N , τ , γ , $\xi_\oplus$, A_s рассчитываются на основе последовательной линейной интерполяции значений N_e^{vis} в “узловых” точках.

Описанная база данных разработана с помощью СУБД MySQL. Визуализация информации, содержащейся в базе данных и получаемой в расчетах, реализована в виде HTML-документов. Интерактивность системы обеспечивается скриптами для динамического формирования страниц с использованием CGI-технологий – на языках PHP и JavaScript. Работа с базой данных осуществляется с помощью диалоговых форм, представляющих собой таблицы с размещенными в них управляющими элементами: полями для ввода текста или списками фиксированных значений, подписями, поясняющими назначение каждого из полей, и кнопками для дальнейшей работы и сброса установок.

Представленные на сайте данные представляют интерес для специалистов по геофизике, физике атмосферы и математическому моделированию мезомасштабных атмосферных процессов.

Результаты, которые легли в основу настоящей базы данных, получены при частичной поддержке РФФИ (грант 00-05-65456 и 99-07-90104).

1. Титов Г.А., Журавлева Т.Б. Параметризация потоков солнечной радиации в разорванной облачности.

Оптика атмосферы и океана, 1997, **10**, 7, 707-721.

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: проф. **Н.Ф. Еланский** (ИФА РАН, Москва), к.т.н. **В.И. Салин** (ГОИ, Санкт-Петербург), проф. **Ю.А. Скляров** (СГУ, Саратов)

Приборный комплекс для измерения вертикального распределения в атмосфере двуокиси азота, озона и аэрозоля

Игаев А.И. (igaev@omega.ifaran.ru), Еланский Н.Ф., Елохов А.С., Постыляков О.В.
Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер. 3, 109017 Москва, Россия

Предлагается план поэтапной модернизации сети из 5 станций наблюдения двуокиси азота в стратосфере (Звенигород, Кисловодск, Томск, Ловозеро и Иссык-Куль) для начала измерения на ней вертикальных распределений озона и характеристик аэрозоля разработанными в ИФА методами. Проект основан на модернизации спектрофотометра МДР-23 и создании на его базе приборного комплекса для наблюдения двуокиси азота, озона и аэрозоля в стратосфере. Также комплекс будет включен в штатный состав оборудования железнодорожного вагона-лаборатории и обсерватории атмосферных наблюдений Москва-МГУ. Приборный комплекс в завершенном виде будет включать в себя:

- 1) спектрофотометр МДР-23, модернизированный для измерения вертикального распределения двуокиси азота и озона;
- 2) поляризационный фотометр для измерения вертикального распределения характеристик аэрозоля;
- 3) фотометр для регистрации облачности в зените;
- 4) цветную цифровую фотокамеру с объективом «рыбий глаз» для наблюдений за облачностью по всему небосводу;

Автоматизированные наблюдения за облачностью предполагается использовать в алгоритмах восстановления стратосферных компонент для автоматического контроля качества и коррекции данных.

На первом этапе для оптимального сочетания наблюдений вертикальных профилей озона и двуокиси азота модернизирован спектрофотометр МДР-23. В результате использования специального устройства и двух ФЭУ уменьшено время переключения режимов сканирования между УФ (для озона) и видимой (для NO₂) областями спектра. Проведены испытания и первые измерения модернизированным спектрофотометром. Выполняется модернизация поляризационного фотометра. Показаны результаты обработки первых измерений, выполненных с помощью данного измерительного комплекса.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 01-05-64546.

Влияние радиационных процессов и локальной динамики на уровень концентрации озона в горных условиях по измерениям на КВНС ИФА РАН

Сеник И.А., Савиных В.В., Беликов И.Б. (atmos@narzan.com)

*Кисловодская высокогорная научная станция Института физики атмосферы им. А.М. Обухова, 357747
Кисловодск, Россия*

Режим приземного озона в атмосфере и его вариации в большой степени зависят от солнечной радиации. Совместные наблюдения концентрации озона и UV–В потоков проводятся в условиях высокогорья (2070 м) на КВНС ИФА РАН, Северный Кавказ. Поток суммарной UV–В радиации (290–325 nm), приходящий на горизонтальную поверхность из верхней полусферы, измеряется с использованием сетевого спектрофотометра Brewer #43. Непрерывные наблюдения концентрации озона ведутся на стандартном откалиброванном газоанализаторе Dasibi – 1008АН. В 2000 и 2001 гг. с помощью комплекса приборов получены данные о приземных концентрациях CO , CO_2 , NO_x .

Фотохимическое производство и разрушение озона – нелинейная функция, зависящая от количества солнечной радиации, O_3 , H_2O , NO_x и летучих органических соединений (VOC). Большая часть вариаций приземной концентрации озона в загрязненных районах определяется изменениями NO_x , но в условиях низкой концентрации загрязняющих примесей, характерных для КВНС, УФ–вариации могут играть существенную роль в объяснении изменчивости озона. В фоновых условиях удаленного острова (США), например, 65% стока озона происходит за счет фотолиза с последующей реакцией $\text{O}(\text{D}) + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{OH}$ [Duderstadt, 1998] и, следовательно, сильно зависит от радиации $< 310 \text{ nm}$. Анализируются как долговременные вариации UV–В радиации, так и кратковременные, связанные с вариациями облачности.

Время установления равновесия в системе



сравнимо с флуктуациями солнечной радиации (не очень быстрыми). Облачность может вызывать 20% (и большее) увеличение UV–В радиации по сравнению с безоблачными условиями из-за многократного рассеяния в облаках и переотражения между облаками. Подобные вариации фотохимически активной радиации предоставляют возможность в течение дня наблюдать процессы образования и разрушения озона и проверить достоверность представлений о химических трансформациях примесей и даже оценивать их скорость. Следует отметить, что подобная оценка должна сопровождаться синоптическим анализом и контролем наличия инверсий и конвективных движений, которые связаны с метеорологическими процессами и могут внести существенные коррективы не радиационного происхождения в изменчивость приземного озона. Поэтому для наших исследований были отобраны дни с малоактивными синоптическими процессами и особым ветровым режимом.

Была оценена изменчивость приземного озона для незагрязненных условий ($\text{NO}_x < 1 \text{ ppb}$) сентября. В первом приближении получена скорость образования озона из линейной аппроксимации зависимости $\text{O}_3(\text{NO}_x) - 7 \text{ ppb/ppbNO}_x$ для сентября.

По многолетним данным КВНС для разных сезонов получены графики суточного хода, характерные для горных станций, со слабыми, но устойчиво повторяющимися внутрисуточными изменениями. Они являются комбинацией химических и физических процессов. К последним относятся: формирование локальной горно-долинной системы ветров и ночных приземных инверсий, турбулентность и конвекция, изменение высоты границы ППС. Эти процессы тоже зависят от радиационного режима и вносят вклад в характер суточного хода на КВНС и его сезонные изменения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект 01–05–64402).

Радиоспектрометр миллиметрового диапазона с акустооптическим спектроанализатором для мониторинга атмосферного озона

Розанов С.Б. (sergroz@sci.lebedev.ru), Кропоткина Е.П., Леонов В.Н., Лукин А.Н.,
Соломонов С.В.

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Ленинский пр. 53, 119991 Москва, Россия

Есепкина Н.А., Круглов С.К., Саенко И.И. (saenko@cef.spbstu.ru)

Санкт-Петербургский государственный технический университет, Политехническая 29, 195251 Санкт-Петербург, Россия

Дистанционное зондирование атмосферного озона на миллиметровых радиоволнах является эффективным методом мониторинга озонного слоя. По форме уширенных давлением вращательных спектральных линий собственного теплового излучения озона, измеренных с Земли, можно определить вертикальное распределение озона на высотах примерно 15–75 км [1, 2]. Для этого метода необходимы высокочувствительные радиометры и широкополосные, стабильные и надежные спектроанализаторы, среди которых все более широкое применение находят акустооптические спектрометры (АОС) [3].

Входная часть рассматриваемого радиоспектрометра представляет собой двухлучевой модуляционный приемник 2-миллиметрового диапазона [1, 2]. Один из лучей (сигнальный) направлен на небо, для которого частотная зависимость яркостной температуры в этом диапазоне определяется, в основном, линией озона с центральной частотой 142,175 ГГц. Второй луч (опорный) перекрывается поглотителем, охлажденным жидким азотом. В смесителе на диоде Шоттки сигнал преобразуется в полосу частот АОС 1,5–2,0 ГГц. Двухполосная шумовая температура приемника составляет 650–700 К в средней части анализируемой полосы.

Оптическая часть АОС включает гелий-неоновый лазер, анаморфотную систему коллимации, акустооптический дефлектор на кристалле LiNbO_3 (центральная частота 1750 МГц, временная апертура 1,5 мкс, эффективность $1,5 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}^{-1}$) и фурье-объектив. В выходной плоскости оптического процессора расположен линейный ПЗС-фотоприемник, содержащий 2048 элементов. Оптический процессор выполнен в виде модуля размерами $40 \times 25 \times 15 \text{ см}^3$, содержащего несколько оптико-механических узлов на опорной плите.

Ширина полосы анализа спектрометра составляет 500 МГц по уровню –3 дБ. Максимальная величина отклонения градуировки частотной шкалы от линейной не превышает $\pm 0,25\%$ от полосы анализа, а связанные с этой нелинейностью вариации ширины каналов не превышают $\pm 2\%$ от средней ширины одного канала, равной 0,9 МГц. Шаг следования каналов составляет около 0,6 МГц.

Измерения долговременной стабильности частотной градуировки АОС показали, что при изменении окружающей температуры частотная шкала сдвигается как целое, практически не меняя свою форму, не более чем на 1 МГц за день работы. Этот сдвиг можно учесть при обработке спектров, если при наблюдениях регистрировать положение отклика АОС на сигнал стабильного частотного репера. Эффективное время непрерывного накопления АОС, определенное по результатам измерения зависимости спектроскопической дисперсии Аллана от времени накопления, составляет не менее 300 с. Динамический диапазон АОС, определяемый линейным участком амплитудной характеристики, составляет 24 дБ.

Разработанная система сбора данных АОС на основе процессора ADSP2181 и соответствующие программные модули обеспечивают управление фотоприемником, аналого-цифровое преобразование сигнала, синхронное накопление данных с сигнального и опорного входов приемника и передачу их в компьютер, где рассчитывается спектр яркостной температуры неба. Далее проводится суммирование отдельных спектров и восстановление вертикального распределения озона [1, 2].

Пробные измерения спектров озона проводились в Москве в июне–июле 2001 г. Восстановленные по этим спектрам вертикальные профили озона оказались близки к модельным распределениям для летних месяцев. Результаты измерений характеристик радиоспектрометра с АОСом и успешное проведение с ним первых в России измерений спектров атмосферного озона подтверждают целесообразность применения АОСов в комплексах для дистанционного зондирования атмосферы на миллиметровых радиоволнах.

Работа поддержана Советом по поддержке ведущих научных школ (гранты № 00–15–99–071 и 00–15–96586) и РФФИ (гранты № 99–02–18132, и 00–05–64976).

1. Solomonov S.V., Rozanov S.B., Kropotkina E.P. et al. *Proc. SPIE*, **3406**, 1998, 135-157.
2. Соломонов С.В., Розанов С.Б., Кропоткина Е.П. и др. *Радиотехн. и электрон.*, **46**, 12, 2000, 1519-1525.
3. Есепкина Н.А., Зинченко И.И., Саенко И.И. и др. *Известия ВУЗов. Радиофизика*. **XLIII**, 11, 2000, 935-941.

Моделирование и подготовка эксперимента по дистанционному зондированию стратосферной окиси хлора на миллиметровых радиоволнах с поверхности земли

Розанов С.Б. (sergroz@sci.lebedev.ru), Соломонов С.В., Игнатьев А.Н.
Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Ленинский пр. 53, 119991 Москва, Россия

Одновременные измерения вертикальных распределений озона и озоноразрушающих молекул позволяют лучше понять причины неблагоприятных изменений в озонном слое атмосферы Земли. Окись хлора ClO является одной из наиболее опасных молекул, разрушающих озон в каталитических реакциях. В ФИАН начаты работы по наземному дистанционному зондированию стратосферной окиси хлора на миллиметровых радиоволнах. Измерения спектров теплового излучения окиси хлора будут проводиться в Москве одновременно с озонными измерениями на частоте 142,2 ГГц [1]. Наибольший интерес для исследований представляют высоты 35–40 км, где должен находиться максимум относительного содержания окиси хлора в нормальных условиях, а также область высот около 20 км, где может возникать другой, аномальный максимум.

Для расчета интенсивности излучения атмосферы и компьютерного моделирования наземных наблюдений вращательных спектральных линий окиси хлора была создана программа, использующая плоскоструйную модель атмосферы и учитывающая молекулы O_2 , H_2O , O_3 , ClO , CO , N_2O и HNO_3 . Параметры спектральных линий брались из атласа HITRAN 2000 [2]. Для наземных измерений была выбрана достаточно изолированная линия молекулы $^{35}\text{Cl}^{16}\text{O}$ с центральной частотой 204,35 ГГц, которая с учетом условий наблюдений в Москве оказывается предпочтительной по сравнению с другими линиями, например 241,5 и 278,6 ГГц. Яркостная температура линии 204,35 ГГц может составлять от нескольких сотых долей Кельвина до 0,2–0,3 К в зависимости от вертикального распределения окиси хлора и условий наблюдений.

Начата разработка охлаждаемого супергетеродинного радиометра на частоту 204,35 ГГц со смесителем на диоде с барьером Шоттки. Чтобы избежать искажений линии окиси хлора излучением неба, частично просачивающимся через однополосный фильтр в зеркальную полосу смесителя, частота гетеродина выбрана равной 208,1 ГГц. При этом зеркальная полоса оказывается в частотном окне 211,2–212,5 ГГц, в котором нет сильных линий атмосферных газов [2].

Входная оптика приемника включает в себя внеосевую параболическую антенну, модулятор-переключатель, однополосный фильтр, модулятор длины пути входного пучка, диплексер, холодную и теплые нагрузки, а также двухмодовые рупора для формирования и приема гауссовых пучков излучения. Однополосный фильтр и диплексер представляют собой поляризационные интерферометры Майкельсона. Одна из поляризаций излучения холодной нагрузки создает холодный фон в зеркальной полосе приемника, а ортогональная к ней поляризация используется для калибровки приемника и формирования регулируемого

опорного уровня температуры, близкого к яркостной температуре неба. Для фокусировки гауссовых пучков используются внеосевые эллиптические зеркала с углами падения 30° – 35° . Во входных трактах отсутствуют поверхности, нормальные к направлению распространения пучков, чтобы минимизировать искажения спектра стоячими волнами. Расчетная ширина луча антенны составляет около $1,5^\circ$ по уровню – 3 дБ.

Смеситель, предварительный усилитель промежуточной частоты 3,5–4,0 ГГц и холодная нагрузка будут охлаждаться в вакуумируемом криоблоке до температуры около 20 К с помощью микрокриогенной системы замкнутого цикла. Конструкция смесителя 1,5-мм диапазона близка к конструкции смесителя, установленного в озонном радиоспектрометре ФИАН на частоту 142 ГГц [1, 3]. В смесителе будут использованы планарные диоды АА138В-3.

На первом этапе гетеродином будет лампа обратной волны ОВ-71 с удвоителем частоты. Испытания умножителя показали, что он может использоваться в качестве гетеродина в диапазоне частот 197–210 ГГц. В дальнейшем предполагается переход на генератор на диоде Ганна с умножителем частоты.

Работа поддержана грантами РФФИ №№ 99–02–18132, 00–05–64976 и 00–15–96586.

1. Соломонов С.В., Розанов С.Б., Кропоткина Е.П., Лукин А.Н. *Радиотехн. и электрон.*, **45**, 12, 2000, 1519–1525.
2. HITRAN-2000, <ftp://cfa-ftp.harvard.edu/pub/HITRAN/>.
3. Розанов С.Б. *Радиотехн. и электрон.*, **41**, 3, 1996, 362–369.

О влиянии параметров элементов спектральной селекции газкорреляционного радиометра на точность измерений содержания примесей в пограничном слое атмосферы с аэрокосмических платформ

Виролайнен Я.А. (yana.virolainen@pobox.spbu.ru), Поляков А.В.

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

Дементьев Б.В., Иванов В.В.

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Ленинский пр. 53, 119991 Москва, Россия

Газокорреляционный радиометр выделяет из общего спектра нескольких атмосферных газов линии исследуемой компоненты за счет использования в приборе исключительно селективного элемента – газового фильтра. Этот фильтр модулируется по оптической толщине и заполняется таким же газом, содержание которого исследуется. На приемнике излучения одновременно суммируется информация о множестве линий исследуемого газа, входящих в рабочую область спектра. Она определяется вторым селективным элементом прибора – интерференционным фильтром. Измерение содержания примеси в пограничном слое атмосферы производится по отраженному земной поверхностью солнечному излучению, прошедшему сквозь атмосферу.

Для анализа влияния на точность измерений параметров указанных элементов проведено моделирование сигналов на выходе радиометра на основе созданной радиационной модели системы “атмосфера–земная поверхность”. Она включает прямые (line-by-line) расчеты измеряемого излучения и его селекции внутри радиометра. Учитывалось поглощение молекул CH_4 , CO , H_2O , O_3 , N_2O , и CO_2 в диапазоне спектра 2,1–2,6 мкм. Построен алгоритм оценки точности газокорреляционных измерений содержания примесей в пограничном слое атмосферы. Особенностью алгоритма является учет шумов измерительного прибора и помех, обусловленных вариациями содержания посторонних газов во всей толще атмосферы, а также исследуемого газа вне заданного для измерений слоя, как суммарного эффективного шума.

Для надирных измерений с высоты 20 км проведены расчеты зависимости ошибок определения содержания метана в слое 0–4 км от максимальной длины пути луча и давления

в газовом фильтре радиометра, имеющего пороговую энергетическую чувствительность $NER = 6 \times 10^{-2} \text{ мВт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ср}^{-1}$ при времени единичного измерения 0,5 с. Расчеты проводились для различных значений глубины модуляции оптического пути луча, параметров интерференционного фильтра, зенитных углов Солнца (30° – 70°) и альbedo земной поверхности (0,1–0,25). Полученные зависимости носят немоноотонный характер и имеют минимум при давлении 2 бар и длине пути луча 200 мм. Ему соответствует глубина модуляции 100% (предельные значения длины хода луча в газовом фильтре 0 и 200 мм) и границы (по уровню 0,5) полосы пропускания интерференционного фильтра 2,228 и 2,318 мкм. Здесь среднеквадратичные ошибки измерений составляют в зависимости от величины альbedo и угла Солнца 5–10% от фонового содержания CH_4 в исследуемом слое.

Для сопоставления эффективности фильтров выполнены оценки для спутникового газокорреляционного ИК-радиометра МОПИТТ аналогичного предназначения [1]. Прибор имеет предельные значения длины хода луча в газовом фильтре 5 и 20 мм (глубина модуляции 66%), давление 0,8 бар, граничные длины волн интерференционного фильтра 2,225 и 2,297 мкм, $NER = 6 \times 10^{-3} \text{ мВт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ср}^{-1}$ (температура приемника излучения 100 К). Так же, как и в работе [1], рассматривались только собственные шумы прибора при альbedo 0,1 и зенитном угле Солнца 0° . Получены следующие значения ошибок: для прибора [1] – 0,68%, для прибора с $NER = 6 \times 10^{-2} \text{ мВт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ср}^{-1}$ и оптимальными фильтрами – 0,95%, для этого же прибора с фильтрами [1] – 6,8%. Первая из приведенных величин согласуется с полученной в [1] погрешностью 0,6%, а отношение последних двух величин свидетельствует о 7-ми кратном преимуществе оптимального газового фильтра.

Полученная теоретически точность определения содержания метана 5–10% при использовании оптимальных фильтров удовлетворяют требованиям ВМО [2]. Она может быть реализована при относительно малом весе и энергопотреблении прибора. Это определяется тем, что за счет высокого коэффициента пропускания газового фильтра достаточной для радиометра является $NER = 6 \times 10^{-2} \text{ мВт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ср}^{-1}$. Такую чувствительность можно обеспечить при использовании приемников ИК-излучения с термоэлектрическим охлаждением до 210–230 К.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 01–05–65392).

1. Pan L., Edwards D.P, Gille J.C., Smith M.W., Drummond J.R. Satellite remote sensing of tropospheric CO and CH_4 : forward model studies of the MOPITT instrument, *Appl. Opt.*, **34**, 30, 1995, 6976–6988.
2. WMO/CEOS Report on a strategy for integrated satellite and ground-based observation of ozone. World Meteorological organization. Global atmospheric watch, No. 140, pp.128. WMO TD No.1046, 2000.

Малогобаритный многоспектральный авиационный сканер для дистанционного зондирования земной поверхности

Павлов Н.И., Ясинский Г.И.

НИИ комплексных испытаний оптико-электронных приборов, г. Сосновый Бор, Ленинградская обл., Россия

Основной тенденцией развития авиационных оптико-электронных систем дистанционного зондирования и мониторинга земной поверхности является создание многоспектральных комплексов, обеспечивающих получение цифровых изображений одновременно в нескольких спектральных диапазонах. Проведенные в последнее время исследования показывают, что одновременное формирование цифровых изображений в ИК и видимой областях оптического диапазона, а также их совместная обработка позволяют использовать для классификации техногенных и природных объектов новые информационные признаки, выражающие корреляционную связь отраженного (солнечного) и теплового (собственного) излучений в условиях естественного теплообмена.

Опыт, приобретенный при создании в НИИ комплексных испытаний оптико-электронных приборов в 1993–1996 г.г. сканера «Везувий-ЭК», а также использование современной оптической и электронной элементной базы позволили, значительно снизив

массу и габаритные размеры прибора, разработать и изготовить при сопоставимых технических характеристиках малогабаритный многоспектральный авиационный комплекс, способный формировать одновременно несколько цифровых изображений в спектральном диапазоне 0,4–12,5 мкм.

Технические характеристики сканера:

- масса оптико-механического блока 6 кг;
- габаритные размеры 25×Ø20 см;
- угол поля обзора 120 град. при мгновенном угле зрения 0,5 мрад;
- обнаруживаемая разность температур 0,1 К;
- рабочие высоты носителя 50–3000 м.

Ультрафиолетовый спектрометр на базе полихроматора

Привалов В.И., Шаламянский А.М. (ozon@peterlink.ru)

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

Гулидов С.С.

Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова, Биржевая линия 12, 199034 Санкт-Петербург, Россия

Для того, чтобы на современном уровне обеспечить мониторинг состояния озонового слоя и уровня ультрафиолетовой радиации на озонметрических станциях Росгидромета специалисты ГГО, ГОИ и СПбУТМО разработали и изготовили экспериментальный образец полностью автоматизированного спектрометра на базе УФ-полихроматора с фотодиодной линейкой, регистрирующего спектральный состав УФР в диапазоне от 250 до 430 нм. При разработке прибора были учтены требования ВМО к аппаратуре для измерений озона и УФР.

Прибор оснащен малогабаритной системой наведения на Солнце и другие источники света (зенит неба, полусфера неба, лампы для трассовых измерений и для контроля). Регистрация одного спектра занимает не более 8 сек, что позволяет вести измерения при любой облачности. Полное отсутствие подвижных элементов в спектральном блоке прибора многократно повышает его надежность и служит гарантией долговременной бесперебойной работы на станциях.

С помощью УФ-спектрометра на базе разработанных в ГГО и проверенных методов в течение нескольких минут может быть получена информация: 1) о спектральном распределении прямой, суммарной и рассеянной радиации в диапазоне 290–430 нм в абсолютной шкале (соответственно могут быть рассчитаны уровни эритемной радиации, радиации, действующей на ДНК и т. д.); 2) об общем содержании озона в диапазоне от 150 до 600 Д.е. (при любых погодных условиях, кроме осадков); 3) об общем содержании SO₂ и NO₂; 4) о приземной концентрации озона (измерения на трассе); 5) о спектральном составе оптической плотности аэрозоля в вертикальном столбе.

УФ-спектрометр может быть также использован для измерения вертикального распределения озона по эффекту обращения.

В настоящее время прибор проходит натурные испытания в Воейково, в ходе которых должна быть проведена его калибровка по эталонным приборам.

В дальнейшем предлагается изготавливать прибор, по крайней мере, в двух модификациях: 1) с полным набором измеряемых и перечисленных выше параметров для обсерваторий и станций высокого разряда и 2) без системы наведения для измерения ОСО и УФР на станциях сети.

Влияние атмосферы на работу наземных и космических лазерных линий связи

Мальцев Г.Н., Подрезов С.В.

Военный инженерно-космический университет им. А.Ф. Можайского, каф. космических радиотехнических систем, Ждановская 13, 197082, Санкт-Петербург, Россия

Развитие инфраструктуры систем связи и успехи в области лазерной технологии привели к резкому возрастанию интереса к лазерным линиям связи с открытым (атмосферным или космическим) каналом. Они обладают высокой пропускной способностью и эксплуатационной технологичностью, не требуют прокладки кабельной сети связи и проведения мероприятий по обеспечению электромагнитной совместимости. В последние годы достигнуты значительные успехи в разработке элементной базы для лазерных линий связи видимого и ближнего ИК диапазонов.

Основными направлениями применения лазерных линий связи являются:

- дальняя космическая связь между двумя космическими аппаратами (канал КА–КА) или между космическим аппаратом и наземным пунктом (каналы КА–НП и НП–КА) на дальностях до десятков тысяч километров;
- ближняя наземная связь между двумя наземными пунктами (канал НП–НП) на дальностях в единицы или десятки километров.

Влиянию атмосферы подвержены каналы КА–НП и НП–КА космических лазерных линий связи и канал НП–НП наземных лазерных линий связи. В докладе рассматриваются характер этого влияния и основные эффекты, определяющие качество лазерной связи по атмосферным каналам.

Для каналов КА–НП и НП–КА космических лазерных линий связи характерно распространение лазерного излучения по вертикальным и наклонным трассам в атмосфере и прием слабых оптических сигналов. Облачность на трассе распространения делает лазерную связь в каналах КА–НП и НП–КА невозможной, а в отсутствии облачности качество связи определяется атмосферными флуктуациями, которые зависят от оптического турбулентного фактора на трассе распространения и режима работы оптического приемника.

Наиболее значительно влияние атмосферы на канал НП–КА, где атмосферный слой находится в ближней зоне передающей оптической антенны. Здесь флуктуации принимаемых сигналов могут быть частично устранены за счет апертурного интегрирования и апертурного усреднения, и лишь при сильных флуктуациях имеет место эффект «насыщения» качества связи.

Для каналов НП–НП наземных лазерных линий связи характерно распространение лазерного излучения по горизонтальным трассам в атмосфере и возможность достижения в отсутствии атмосферных дымок и аэрозолей высокого энергетического потенциала линии связи. Качество связи определяется затуханием лазерного излучения на трассе распространения, которое в зависимости от метеоусловий и времени суток может изменяться в широких пределах. Влияние атмосферных флуктуаций проявляется при увеличении затухания в атмосферном канале и уменьшении мощности принимаемых сигналов.

Изменение в широких пределах условий связи на горизонтальных атмосферных трассах затрудняет расчет характеристик наземных лазерных линий связи. При этом получившая распространение для характеристики условий связи в видимом диапазоне метеорологическая дальность видимости применительно к большинству наземных лазерных линий связи ближнего ИК-диапазона оказывается непригодной, поскольку прочность атмосферы в видимом и ближнем ИК-диапазона при одних и тех же метеоусловиях может существенно отличаться.

Приводятся результаты исследования качества лазерной связи в атмосферных каналах КА–НП, НП–КА и НП–НП.

Методы, спектрорадиометрическая аппаратура и результаты исследований оптических характеристик типовых элементов ландшафта, полученных с высотной метеорологической мачты (ВММ-313) высотой 313 м

Алленов М.И. (allenov@typhoon.obninsk.org), Васильев А.С., Давлетшина Р.А.,
Коваленко В.А., Иванов В.Н., Третьяков Н.Д.

*Институт экспериментальной метеорологии НПО «Тайфун», Ленина 82, 249038 Обнинск Калужской обл.,
Россия*

На полигоне НПО «Тайфун» (г. Обнинск), созданного на основе высотной метеорологической мачты высотой 313 м, проводятся исследования характеристик элементов ландшафта: травы, леса, почв, полей культурных растений, водоемов, заболоченных участков и др. с целью поиска устойчивых признаков (радиационных, спектральных, пространственно-временных, агрофизических, фитоактинометрических и др.) для их параметризации при различных метеорологических условиях и условиях освещенности. Эти признаки затем можно перенести на типовые крупномасштабные природные среды. На полигоне предполагается создать малоразмерные элементы, например, водоемы, которые можно загрязнять разноуровневыми концентрациями веществ и отрабатывать методы и средства обнаружения и реабилитации загрязненных сред.

Высотная метеорологическая мачта – уникальное сооружение, измерительные площадки размещены через каждые 25 метров по высоте с датчиками температуры, давления и скорости ветра. На полигоне имеется метеорологическая станция, ведутся метеорологические и актинометрические наблюдения. Особенностью исследований являются многократные измерения характеристик элементов ландшафта при помощи строго ориентированной высокоразрешающей по пространству аппаратуры при различных формах и количестве облачности и освещенности, что во многих случаях заменяет дорогостоящие исследования с летательных аппаратов и повышает их качество.

Исследования проводятся при помощи специально разработанной спектрорадиометрической сканирующей аппаратуры с следующими основными параметрами:

- рабочий диапазон длин волн от 0,4 до 2,9 мкм;
- спектральное разрешение 1–2% от длины волны;
- эффективная пороговая чувствительность $(1-7) \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{ср}^{-1} \cdot \text{мкм}^{-1}$;
- пространственное разрешение на местности около метра (12–20 минут дуги);
- быстродействие $(1-10) \text{ спектров} \cdot \text{мин}^{-1}$;

Для исследования радиационных свойств элементов ландшафта предполагается использовать также тепловизор для регистрации изображений объектов в диапазоне 8–13 мкм и спектрорадиометр для измерений полусферической спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ) и распределений СПЭЯ по кольцевым зонам облачного неба в диапазоне 0,4–2,9 мкм (рассеянное и суммарное излучение) и по спектру с разрешением 1–2% от длины волны.

В докладе приводятся некоторые результаты исследований корреляционных связей по времени и спектру длин волн для различных элементов ландшафта, характеристики которых измерены в определенные дни и часы (эталонные – первичные реализации) и затем в другие дни и часы в сходных и других условиях. Выявлены устойчивые тесные связи и временные интервалы, при которых эти связи существуют и разрушаются.

Современное состояние мониторинга атмосферной УФ радиации в Киеве

Белявский А.В. (bel@ozsolkiev.ua)

УкрНИИГМИ, Госкомгидромет Украины, пр. Науки 37, 03028 Киев, Республика Украина

Наумов В.В. (naumov@ifph.kiev.ua), Смертенко П.С. (eureka@irva.kiev.ua)

Институт физики полупроводников АН Украины, пр. Науки 45, 03028 Киев, Республика Украина

1. Регулярные наблюдения за изменениями атмосферной УФ радиации (УФР) Солнца, вызванными глобальными изменениями общего содержания озона (ОСО) в атмосфере Земли, начались в Киеве с 1990 г. и проводятся в виде научного мониторинга до сих пор. УФР мониторинг важен как с точки зрения выявления аномально высоких уровней солнечного УФ излучения в связи их воздействием на биологию человека, так и с точки зрения изучения трендов изменения регионального УФ климата (УФ облученности земной поверхности) для оценки возможных экономических последствий. В качестве аппаратуры для УФР измерений используются четыре типа оптических инструментов: широкополосный фильтровый УФ-фотометр системы Гущина, узкополосный фильтровый УФ-метр/озонметр автомат конструкции Шаламянского, дифференциальный УФ спектрофотометр на основе ОМА с ПЗС-камерой с компьютерным управлением и портативные многоканальные фотометры ФУФИ-Л производства ИФП НАН Украины с ВАТ ИРВА [1]. Приборы откалиброваны в ВНИИОФИ Госстандарта России, сертифицированы в ГГО им. Воейкова в С.-Петербурге и многократно проверены путем интеркалибровок. Данные измерений обрабатываются по методикам Госкомгидрометслужбы, анализируются в соответствии с климатическими нормами, накапливаются и передаются в общую базу данных атмосферного мониторинга СНГ в ЦАО в Москве. При всей точности данные измерения относятся к точечным наблюдениям, которые сами по себе не дают нужной картины УФР даже на региональном уровне. Для покрытия территории необходимо большое количество приборов и требуются затраты не меньше, чем потребовались в свое время на создание озонметрической сети. Особенности мониторинга УФР в отличие от мониторинга ОСО заключаются еще в том, что построение полей УФР путем интерполяции результатов точечных измерений (как это делается для полей ОСО) практически невозможно. Это обусловлено более сильной (по сравнению с ОСО) пространственной изменчивостью УФР, которая связана с большой пространственной изменчивостью полей облачности, которые очень сильно влияют на уровень УФ облученности. Поэтому в УкрНИИГМИ совместно с ЦАО был найден более привлекательный альтернативный путь решения проблемы, основанный на алгоритмах определения УФ облученности земной поверхности по данным спутниковых измерений ОСО и балльности облачности с последующим выполнением задачи картографирования УФР по аналогии с картографированием ОСО (космические снимки солнечно-синхронного спутника Earth Probe доступны сейчас в режиме реального времени через Интернет). Исходные данные для реализации такого вероятностно-статистического подхода собраны в ходе прямых УФР измерений за 10 лет наблюдений в Киеве, в Крыму и др. местах, а новая технология УФР картографирования успешно апробирована недавно в рамках национальной антарктической программы на станции «Академик Вернадский» в Антарктиде. Методические основания, алгоритм и примеры реализации приводятся в докладе.

Работа поддерживается международным проектом УНТЦ № 1556.

1. Smertenko P., et al. Novel UV meters for UV monitoring system, in IRS 2000: *Current Problems in Atmospheric Radiation*, A. Deepak Publishing, Hampton, Virginia, 877-881.

**Вакуумно-криогенный стенд для энергетической калибровки
оптико–электронной аппаратуры дистанционного зондирования
подстилающей поверхности из космоса**

Дмитриев И.Ю., Линский П.М.

*НИИ комплексных испытаний оптико-электронных приборов, г. Сосновый Бор, Ленинградская область,
Россия*

Предлагаемая схема стенда для калибровки оптико-электронной аппаратуры (ОЭА) реализует метод близко-расположенного протяженного источника. Стенд обеспечивает проведение метрологической аттестации:

- образцового средства измерений – протяженного излучателя Ø 500 мм;
- ИК канала ОЭА дистанционного зондирования.

Системы и узлы стенда в рассматриваемой схеме реализуют воспроизведение логики сканирования, используемой в аппаратуре в штатных условиях эксплуатации (периодическое визирование имитатора излучения космического пространства) и обеспечивают возможность градуировки аппаратуры при различных температурах на корпусе ОЭА.

В состав стенда входят следующие узлы:

- вакуумная камера для размещения ОЭА и систем обеспечения ее калибровки;
- платформа – изделиедержатель;
- азотный экран – имитатор излучения космоса;
- образцовый излучатель ИАЧТ (имитатор абсолютно черного тела);
- система криогенного охлаждения фотоприемников ОЭА;
- термостатированная бленда между аппаратурой и ИАЧТ;
- охлаждаемая бленда для экранировки фонового излучения;
- комплект экранно–вакуумной теплоизоляции.

Вакуумируемый объем стенда формируется на базе двух вакуумных камер, объединенных в единую систему. Вертикальная вакуумная камера предназначена для размещения в ней: платформы–изделиедержателя, испытуемой ОЭА, системы криогенного охлаждения ФПУ, комплекса средств для обеспечения метрологической аттестации образцовых излучателей ИАЧТ. Горизонтальная камера предназначена для размещения в ней образцового излучателя ИАЧТ и систем его обеспечения. Для устранения (уменьшения) влияния фона на погрешность градуировки ОЭА применяются термостатируемые или охлаждаемые жидким азотом бленды между ОЭА и ИАЧТ. Система терморегулирования должна обеспечивать возможность поддержания температуры бленды при любых фиксированных значениях в диапазоне от – 60 до + 60° С. Требуемые тепловые режимы аппаратуры создаются при помощи штатных нагревателей аппаратуры с помощью технологических систем управления.

Для калибровки образцового средства измерения (ИАЧТ), используемого для градуировки ОЭА, в состав стенда включаются следующие узлы:

- зеркальный модулятор;
- радиометр-компаратор для передачи размера единицы температуры от рабочего эталона к образцовому средству измерения (ОСИ);
- рабочий эталон;
- опорный излучатель;
- система вакуумирования;
- система обеспечения жидким азотом;
- система контроля и измерения температур.

Рассматриваемая поверочная схема для измерения температуры по излучению предусматривает передачу размера единицы от РЭ к ОСИ путем их сличения с помощью радиометра-компаратора методом равных сигналов, что способствует снижению погрешности по сравнению с методом, при котором используются абсолютные приборы.

Универсальные измерители характеристик световых потоков излучения

Ескин А.Е., Колеров А.Н

ГП “Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений”, 141570 Менделеево, Московской обл., Россия

Лазерное зондирование атмосферы связано с применением высокоинтенсивных источников излучения, точное определение характеристик которых определяет успех того или иного вида исследования. Поэтому измерение энергетических, спектральных, временных и пространственных характеристик лазерного излучения в режиме реального времени необходимо для большинства задач, связанных с транспортировкой и взаимодействием лазерного (а также и других видов излучения) сигнала с приземным атмосферным слоем.

В этом сообщении приведены сведения о созданном многофункциональном малогабаритном измерителе характеристик лазерного излучения (ИХЛИ-ЗА). В качестве датчика электромагнитного излучения использовался разработанный в ГП “ВНИИФТРИ” тонкопленочный анизотропный термопреобразователь (ТАТП) [1–2], работающий в широком диапазоне длин волн ($\lambda = 0,2 - 400$ мкм), обладающий малой инерционностью (не хуже 1 мксек) и широким диапазоном линейности (четыре–пять порядков). Приемная апертура ТАТП может меняться в широких пределах – от нескольких квадратных миллиметров до сотен квадратных сантиметров, из них могут набираться приемные линейки или матрицы, они не боятся акустических и электромагнитных наводок, обладают высокой лучевой прочностью, могут выполнять роль многофункциональных оптических элементов лазерной техники и др. [3]. В созданном измерителе использовались одно и двухканальные (в зависимости от задачи) ТАТП, позволяющие проводить измерения импульсной пиковой и средней энергии (мощности), формы и длительности импульса генерации, угловой энергетической расходимости пучка излучения, мощности непрерывного излучения и ее девиации во времени.

Для обработки больших массивов информации в ИХЛИ предусмотрен канал стыковки с ЭВМ и несколько резервных каналов для подключения измерительных или индикационных систем. Созданный прибор содержит датчик (или набор датчиков) и блок сервисной электроники, питание которой осуществляется от аккумуляторной батареи 5 В или сетевого адаптера с потреблением мощности не более 10 Вт. Габариты блока электроники 170x85x40 мм, а вес не превышает 350 г. Полезная информация выводится на цифровой индикатор в режиме реального времени.

1. Колеров А.Н. и др. *Квантовая электр.*, 18, 1991, 490.
2. Колеров А.Н. и др. *Квантовая электр.*, 17, 1990, 2.
3. Колеров А.Н. и др. *Квантовая электр.*, 1999, 27, 180.

Измерения аэрозольных характеристик лидарными системами

Потапова И.А. (shchukin@main.mgo.rssi.ru)

Филиал ГГО им. А.И.Воейкова – НИЦ ДЗА, Карбышева 7, 194021 Санкт-Петербург, Россия

В настоящее время развиваются два альтернативных направления решения проблемы неопределенности лидарного уравнения: направление однопозиционного зондирования, базирующееся на традиционных допущениях о состоянии среды, и новое, основанное на строгом решении обращаемого уравнения. Подход к разработке методов лидарного зондирования, основанный на строгом решении лидарного уравнения, предусматривает посылку зондирующих импульсов к исследуемому объему по двум и более направлениям и прием сигналов обратного рассеяния. Особенностью решения является дифференцирование сигнала по направлению. Данная операция позволяет определить не только коэффициент ослабления, но и компоненты градиента коэффициента обратного рассеяния, если число направлений зондирования превышает размерность пространства зондирования, однако она

применима лишь при исследовании слабо неоднородных сред, где задача является математически корректной.

В работе обоснован многопозиционный интегральный метод лидарного зондирования неоднородной атмосферы, предусматривающий процедуру определения начальных условий и связи между коэффициентами ослабления и обратного рассеяния, при отсутствии пространственной изменчивости которой задача также математически корректна.

Выполнено численное исследование информативности разработанного метода, его чувствительности к ошибкам в исходных данных, в том числе анализ статистического интегрального решения обратной задачи многолучевого лидарного зондирования среды. Исследование информативности метода осуществлено как с использованием теории переноса ошибок, так и посредством решения прямой и обратной задач с введением реалистичных возмущений в эхо-сигналы. В систему уравнений многопозиционного зондирования введены коэффициенты, зависящие от размеров и положений отрезков в пространстве. Коэффициентами регулируются систематические и случайные погрешности лидарных измерений для достижения максимальной информативности метода. Для типичных атмосферных условий при использовании метода многопозиционного зондирования случайная погрешность измерений оказывается сопоставимой, а систематическая – в несколько раз меньше, чем ее величина при однопозиционном зондировании.

В качестве примера проанализированы результаты зондирования атмосферы в пос. Сиверский (Ленинградская область) лидаром на основе рубинового лазера, длина волны излучения 694,3 нм, длительность импульса 30 нс, энергия в импульсе 0,07–0,15 Дж, случайная погрешность производной сигнала не превышает $0,2/D$, где D – пространственная протяженность участка зондирования, радиус действия не превышает 1 км. Для описания результатов зондирования неоднородной атмосферы был применен метод, включающий в себя апостериорное определение степенной связи между коэффициентом ослабления и обратного рассеяния, существование которой показал выполненный в работе анализ данных. Оказалось, что степень варьирует в широких пределах (1–3) при изменении атмосферных условий. Это важно учитывать для достижения достоверности результатов лидарного определения искомых оптических параметров атмосферы. Операцию определения степени в связи между оптическими коэффициентами целесообразно положить в основу метода сравнения результатов лидарных и независимых измерений характеристик неоднородной атмосферы.

Новый метод развит для обеспечения возможности зондирования аэрозолей на расстояниях существенно превышающих дальность действия лидара, характеристики которого приведены выше. С этой целью найдено строгое решение лидарного уравнения, учитывающее наличие фоновой засветки. Проанализированы данные, полученные лидаром, радиус действия которого превышал 13 км. Разработан алгоритм, учитывающий особенности сигнала обратного рассеяния на сравнительно больших расстояниях от лидара (геометрические особенности приемо-передающей схемы лазерных устройств; чувствительность приемной аппаратуры). Удовлетворительные результаты интерпретации данных зондирования получены вплоть до незначительных концентраций аэрозоля в атмосферном воздухе (до значений коэффициента ослабления, не превышающего нескольких сотых км^{-1}).

Сравнительный анализ данных лидарных, трансмиссометрических и фотоэлектрических измерений концентраций аэрозольных частиц, выполненных в разнообразных условиях (в крупном промышленном центре, пустынной, горной зонах) показал удовлетворительную сопоставимость результатов, полученных различными методами.

Для условий натурных экспериментов осуществлено моделирование процесса рассеяния электромагнитных волн, которое оказалось эффективным для сферических частиц,

составленных из однородного ядра и неоднородной оболочки. Результаты позволили объяснить существование корреляции коэффициента ослабления с концентрацией частиц в пос. Воейково, С.-Петербурге, Репетеке, Абастумани.

Основные факторы, определяющие временную изменчивость спектрального состава УФ радиации на подстилающей поверхности в условиях высокогорья

Савиных В.В. (atmos@narzan.com)

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

Кисловодская высокогорная научная станция (КВНС) расположена на Северном Кавказе в 20 км южнее г. Кисловодска на высоте 2070 м над уровнем моря в зоне альпийских лугов. Вблизи станции отсутствуют источники загрязнения атмосферы. Регулярные наблюдения ультрафиолетовой (УФ) радиации проводятся с 1989 года на полностью автоматизированном (управляемом компьютером) озонном спектрофотометре Brewer MKII № 043 (производство SCI-TEC Inc., Canada). Этот инструмент измеряет поток и суммарной УФ радиации, приходящей на горизонтальную поверхность из всей верхней полусферы, в области длин волн 290–325 нм с шагом 0,5 нм. Последнее сравнение инструмента с мобильным эталоном (Brewer № 017) Международной озоновой службы (Int'l Ozone Services Inc., Canada) состоялось в июле 2001 года. Наблюдения УФ радиации проводятся при определенных зенитных углах Солнца в течение всего светового дня. Исходные файлы с данными по УФ радиации вместе с файлами наблюдений общего содержания озона (ОСО) и файлами метеопараметров помещаются в единый банк данных станции. Наблюдения ОСО выполняются на том же спектрофотометре Brewer № 043, метеопараметры берутся с находящейся вблизи КВНС стандартной метеостанции Госкомгидромета России. Вариации общего содержания озона являются доминирующими в изменении спектрального потока УФ радиации (обратная корреляция) по сравнению с другими факторами, оказывающими влияние на потоки ультрафиолетового излучения (облачность, прозрачность атмосферы). Коэффициент увеличения радиации (RAF - radiative amplification factor) в зависимости от ОСО возрастает в сторону коротких длин волн.

Работа выполняется при финансовой поддержке РФФИ (проект 01–05–64402).

Погрешность абсолютной калибровки чувствительности фотометра свечения верхней атмосферы

Салин В.И.

НИИ комплексных испытаний оптико-электронных приборов, Сосновый Бор, Ленинградская обл., Россия

В полевых условиях в качестве основного метода абсолютной энергетической калибровки фотометров принята система световых величин, как наиболее разработанная и обеспеченная достаточно простыми и надежными метрологическими средствами измерения. Этот метод дополняется системой переводных коэффициентов, позволяющих учитывать отличие спектральной характеристики чувствительности фотоприемника фотометров от кривой видимости МКО и наличие источника света с характеристикой излучения, отличной от характеристики излучения источника А.

Чувствительность фотометров, предназначенных для измерения уровня свечения верхней атмосферы, должна быть отградуирована не только в стандартных энергетических величинах Вт·см⁻², но и в квантовых величинах – рэлей. Причем, для более точного решения ряда фотометрических задач, в этом случае необходимо не только определить абсолютную величину чувствительности фотометров в квантовых величинах, но и оценить получаемую при этом погрешность.

На примере фотометра, предназначенного для исследования эмиссий полярных сияний в верхней атмосфере, показано, что при использовании для паспортизации в световых величинах чувствительности фотоприемника фотометра измерительных средств, обеспечивающих погрешность измерения не более $2 \cdot 10^{-2}$, величина погрешности калибровки абсолютной чувствительности фотометра в квантовых величинах, определяемой в полевых условиях с использованием пересчетного метода калибровки, не будет превышать $5 \cdot 10^{-2}$.

Унифицированный фотодатчик для системы мониторинга оптического излучения солнца

Смертенко П.С., Сукач Г.А. (eureka@irva.kiev.ua)

Институт физики полупроводников АН Украины, пр. Науки 45, 03028 Киев, Республика Украина

Гринь А.П., Круглов В.В., Одинец Г.С., Столяренко Р.Д.

Институт радиоизмерительной аппаратуры, Радищева 10/14, 03680 Киев, Республика Украина

Шмырева А.Н.

Киевский политехнический институт, пр. Перемоги 54, 04057 Киев, Республика Украина

Наблюдение за изменением оптического излучения в ультрафиолетовом диапазоне остается актуальной проблемой в метеорологии, экологии и сельском хозяйстве [1]. Однако, основной профессиональный прибор, BREWER, который используется для высокоточных измерений во многих странах мира, является дорогим прибором. Вместе с тем разрабатываются и более дешевые приборы для системы мониторинга УФ излучения, например, ELDONET [2]. Однако последние исследования показали, что воздействие, в частности, УФ облучения зависит от общего уровня нагрузки электромагнитной облученности [3]. Поэтому необходимо проводить одновременный мониторинг в нескольких диапазонах электромагнитного излучения, включая и ближний инфракрасный.

Разработка многоканальных измерителей электромагнитного излучения [4] может стать дополнительным инструментом для исследования как естественного, так и искусственного электромагнитного излучений. Одним из основных направлений развития такого прибора является усовершенствование оптического датчика: повышение точности и информативности измерений. В данной работе предлагается унифицированный фотодатчик, который обеспечивает преобразование ультрафиолетового (С: 220–280 нм, В: 280–315 нм, А: 315–нм, А+В: 280–400 нм), видимого (V: 400–760 нм) и ближнего инфракрасного (IR1: 760–1100 нм, IR2: 1100–3000 нм) излучения. Унифицированный фотодатчик содержит: 1) чувствительный элемент с фильтром в виде контейнера; 2) преобразователь тока в напряжение; 3) идентификатор, представляющий собой микросхему с информацией о номере и коэффициенте преобразования фотодатчика. Применение идентификатора позволяет: идентифицировать датчик по номеру и спектральному диапазону; учитывать спектральную характеристику; проводить коррекцию температурной характеристики; учитывать точностные показатели датчика; использовать фоточувствительные датчики различного типа; проводить нормировку датчика по выходным параметрам.

Работа поддерживается международным проектом НТЦУ № 1556.

1. Bigelow D.S., et al. The USDA Ultraviolet Radiation Monitoring Program, *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, **79**, 4, 1998, 601-615.
2. Web-site: <http://power.ib.pi.cnr.it:80/eldonet>.
3. Космическая биология и авиакосмическая медицина, **25**, 1991.
4. Smertenko P., et al. Novel UV meters for UV monitoring system, in *IRS 2000: Current Problems in Atmospheric Radiation*, A. Deepak Publishing, Hampton, Virginia, 2001, 877-881.

"Д-дозиметр" – новый метод измерения биоактивной УФБ радиации

Теренецкая И.П. (teren@iop.kiev.ua)

Институт физики НАН Украины, пр. Науки 46, 03039 Киев, Республика Украина

В институте физики НАН Украины предложен новый подход к экологической проблеме контроля биологической активности солнечного УФ излучения [1], а именно, подчеркнута необходимость измерения ее "антирахитической" активности, т.е. способности инициировать синтез витамина Д. Чрезвычайная важность таких измерений обусловлена распространенностью эндогенного синтеза витамина Д в биосфере (эта фотореакция присуща большинству млекопитающих и растений). Для адекватной оценки "антирахитической" активности УФ радиации предложен метод, использующий фотосинтез витамина Д "in vitro", который свободен от недостатков, присущих большинству существующих биодозиметров, отображающих повреждающий эффект УФ излучения, поскольку в основе их действия лежит повреждение молекул ДНК вследствие поглощения УФ радиации:

- 1) для получения результата после УФ экспозиции материал большинства биодозиметров требует дальнейшей лабораторной обработки, поэтому они не способны производить измерения "на месте" в реальном масштабе времени;
- 2) вследствие недостаточного знания механизма фотобиологического эффекта и отсутствия математической модели, они действуют как "черный ящик" и способны давать результат измерений только в специфических для каждого биодозиметра биологических единицах. Это существенно затрудняет как объективную оценку данных, полученных с помощью разных биодозиметров, так и количественную оценку эффекта в общепринятых физических единицах ($\text{Дж}/\text{м}^2$);
- 3) им несвойственна спектральная селективность, то есть они реагируют на изменение интегральной интенсивности УФ радиации изменением только одного параметра (скоростью УФ повреждения биообъекта) и поэтому не способны выявить эффект истончения озонового слоя в условиях, когда аэрозольное рассеяние или загрязнения атмосферы действуют как серый фильтр, ослабляющий поток УФ радиации.

"Д-дозиметр", отражающий позитивный биологический эффект УФБ радиации, обладает следующими преимуществами:

- 1) использование оригинального экспрессного спектрального анализа многокомпонентной фотоизомерной смеси, образующейся в процессе УФ облучения, дает возможность при наличии портативного спектрофотометра проводить измерения "на месте";
- 2) наличие математической модели фотореакции (системы дифференциальных уравнений) дает возможность количественной оценки УФ дозы как в специфических биологических, так и в физических единицах;
- 3) метод обладает спектральной селективностью, то есть наряду с параметрами, которые реагируют на изменение интегральной интенсивности УФ излучения существует дополнительный параметр (максимально достижимая концентрация превитамина Д), чувствительный исключительно к изменению спектрального состава (сдвигу коротковолновой границы) солнечного спектра, что дает возможность контроля толщины озонового слоя в условиях рассеивающей и загрязненной атмосферы.

Работоспособность метода (адекватность модели, воспроизводимость результатов, надежность спектрального анализа) была подтверждена лабораторными и полевыми испытаниями, проведенными в рамках европейского проекта "БИОДОЗ" [2-4].

1. Terenetskaya I.P. "Provitamin D photoisomerization as possible UVB monitor: kinetic study using tunable dye laser", *SPIE Proceedings*, **2134B**, 1994, 135-140.
2. Galkin O.N. and I.P. Terenetskaya. "Vitamin D" biodosimeter: basic characteristics and prospect applications" *J.Photochem.Photobiol. B: Biology*, **53**, 1, 1999, 12-19.
3. Terenetskaya I. Spectral Monitoring of Biologically Active Solar UVB Radiation Using an In Vitro Model of Vitamin D Synthesis", *Talanta*, **53**, 1, 2000, 195-203.
4. Bolsee D., A.R. Webb, D. Gillotay, B. Dorschel, P. Knuschke, A. Krins, and I. Terenetskaya. Laboratory facilities and recommendations for the characterization of biological ultraviolet dosimeters, *Applied Optics*, **39**, 16, 2000, 2813-2822.

ВРЛ-спектроанализаторы для диагностики углеродных и металлуглеродных кластерных сред

Колеров А.Н.

ГП “Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений”, 141570 Менделеево, Московской обл., Россия

Рассматривается возможность использования внутрирезонаторной лазерной спектроскопии и приборов на ее основе для изучения процесса образования многоатомных молекулярных кластеров на углеродной и металлуглеродной основе, синтезируемых в гетерогенной плазме. Индикатором наличия в плазме фуллеренов служил эффект конденсации спектра излучения (КСИ) [1] – образование фуллереновой массы в плазме сопровождается резким изменением динамических, энергетических и спектральных характеристик излучения перестраиваемого лазера, в резонаторе которого находился исследуемый объект.

Источниками гетерогенной плазмы служили пламя электрической дуги и светозэрозионный факел, возникающий при облучении угольных мишеней излучением неодимового лазера, работающего в квазинепрерывном, частотно-периодическом и свободном режимах.

В качестве контрольного использовался факел дуги, содержащий порошкообразный фуллерен C_{60} , появление которого сопровождалось возникновением эффекта КСИ. Последнее обстоятельство служило косвенным подтверждением влияния фуллереновой массы плазмы на изменение характеристик излучения ВРЛ-спектроанализатора.

В светозэрозионной плазме исследовались ситуации, характерные для процесса получения фуллереновой массы с применением лазеров. Методом “временных срезов” [2] удалось зарегистрировать особенности процесса синтеза фуллереновой массы.

1. При частотно-периодическом режиме генерации неодимового лазера с ростом мощности в отдельном пичке излучения отмечено смещение возникающих линий КСИ в длинноволновую область.
2. При квазинепрерывном облучении мишени регистрировалась только одна линия КСИ, интенсивность и спектральная ширина которой менялись во времени. Последнее позволило установить границы плазменного слоя, вызывающего возникновение эффекта КСИ (т.е. зоны плазмы, в которой наиболее эффективно происходит синтез фуллереновой массы).
3. Выявлено влияние химсостава мишени на характер и спектральное положение линий КСИ. Например, примеси редкоземельных металлов в мишенях приводили к возникновению мощных линий КСИ (предполагается, что в такой ситуации металлфуллереновая масса в плазме увеличивается). Линии КСИ, вызванные плазмой от мишеней из углерода и углерода с примесями редкоземельных металлов, локализовывались в разных участках спектра, что позволяло судить о наличии или отсутствии примесей в мишени.

Характерной особенностью возникновения эффекта КСИ являлось резкое увеличение спектральной мощности излучения в импульсе перестраиваемого лазера и уменьшение его длительности на несколько порядков. Таким образом, по изменению характеристик излучения ВРЛ-спектроанализатора можно было оценить, насколько эффективно происходит процесс синтеза фуллереновой массы в гетерогенной плазме.

Было зарегистрировано более 100 мощных и более 300 слабых линий КСИ. Изучение особенностей их возникновения и взаимосвязь с параметрами плазмы в дальнейшем позволит расширить границы представлений о процессах синтеза многоатомных кластерных сред и возможно упростит процесс технологии их получения.

1. Колеров А.Н. *Письма ЖТФ*, 13, 1987, 227.
2. Вращский В.А., Колеров А.Н. *ЖПС*, 41, 1984, 561.

Авторский указатель

Абакумова Г.М.	44, 54	Гулидов С.С.	157
Абатуров А.С.	75	Давлетшина Р.А.	159
Аванесов А.С.	48, 49	Дементьев Б.В.	155
Акимов Д.Б.	93	Джолла А.В.	118, 134
Александров В.Ю.	94	Дмитриев И.Ю.	161
Алленов А.М.	61	Дмитриева-Арраго Л.Р.	145
Алленов М.И.	61, 159	Довгалюк Ю.А.	102
Андрианов А.М.	81	Донченко О.Г.	126
Аникин П.П.	131	Доровских В.В.	81, 86, 87
Аниконов А.С.	27	Егорова Т.А.	107
Анисимова Е.М.	150	Еланский Н.Ф.	106, 151
Арефьев В.Н.	115, 121	Елохов А.С.	106, 119, 135, 151
Афонин С.В.	95, 96	Емельянова В.Н.	102
Бабилов Ю.Л.	73, 74, 84	Емиленко А.С.	7, 134
Бакан С.	117	Еремина И.Д.	47
Банкова Т.В.	6, 89	Есепкина Н.А.	153
Баранов Ю.И.	121,	Ескин А.Е.	162
Баранова Е.Л.	121	Житницкий Е.А.	17
Барун В.В.	116	Журавлева Т.Б.	19, 56, 62, 150
Басс Л.П.	15, 19	Заболотских Е.В.	104
Белан Б.Д.	95	Загорин Г.К.	124
Беликов И.Б.	152	Звягинцев А.М.	119, 120
Беликов Ю.Е.	59	Зеликина Г.Я.	82
Белов В.В.	55, 78, 95, 96	Зинченко А.В.	46
Белоглазов М.И.	53, 106	Зырянова И.М.	52
Белоголов В.С.	149	Иванов А.Р.	62
Белявский А.В.	160	Иванов В.В.	155
Бобылев Л.П.	94, 101, 108, 113, 126	Иванов В.Н.	159
Борисов Ю.А.	6, 89	Ивановский А.И.	6, 89
Бочаров В.Н.	61, 83	Игаев А.И.	151
Бричков Ю.И.	37	Игнатъев А.Н.	154
Бугрим Г.И.	121	Ионов Д.В.	98, 106, 107
Будак В.П.	26	Исаков А.А.	7
Будовый В.И.	149	Исидоров В.А.	62
Бурцев А.П.	61, 82, 83, 88	Йоханнессен О.М.	93, 94, 100, 101, 104, 108, 113
Бутурлимова М.В.	82	Кабанов Д.М.	55, 70, 95
Бухаров М.В.	103	Казбанов В.А.	90
Быков А.Д.	84	Каменоградский Н.Е.	115, 121
Ван Генчен	134	Кароль И.Л.	146
Васильев А.В.	110	Карпечко А.Ю.	53
Васильев А.С.	159	Карпова Н.В.	135
Векленко Б.Б.	26	Кашин Ф.В.	115, 121
Веремей Н.Е.	102	Ким Д.О.	48, 49
Виролайнен Я.А.	117, 133, 155	Киселев А.А.	146
Вишератин К.Н.	115	Киселев М.Б.	75
Владимирова Е.В.	16, 17	Киселева М.Б.	82
Волкова Е.В.	132	Киселёва М.С.	90
Гаврилин Е.А.	75	Кисляков И.М.	61, 83
Гаврилов Н.М.	135	Кистенев Ю.В.	79
Гаврилович А.Б.	22, 27	Китай Ш.Д.	138, 139
Галкин С.В.	123	Клостер К.	94
Галкина И.Л.	97	Кобилов Т.А.	136
Геохланян Т.Х.	103	Кобякова Н.В.	108
Гермогенова Т.А.	15	Коваленко В.А.	159
Глазков В.Н.	6, 89	Козин И.Д.	148
Говоркова В.А.	146	Козлов В.С.	58, 63
Голицын Г.С.	147	Кокорин А.М.	65
Голованов С.Н.	90	Колеров А.Н.	162, 167
Головко В.Ф.	73, 77	Колеров А.П.	29
Горбаренко Е.В.	35, 38, 44, 47	Коломийцева Т.Д.	88
Городничев Е.Е.	25	Коновалов Н.В.	24, 29
Горчаков Г.И.	7, 33, 130	Копейкин В.М.	7, 134
Горчакова И.А.	147	Корзов В.И.	36
Грассл Х.	127	Косолапенко В.И.	106
Гречко Е.И.	118, 134	Косцов В.С.	122, 136, 144
Гринь А.П.	165	Котума А.И.	37
Груздев А.Н.	106, 119, 135	Кохановский А.А.	23
Грязина Е.Н.	123		

Кошелев М.А.	81, 86, 87	Панченко М.В.	58, 63, 68, 69, 95
Крамчанинова Е.К.	99	Парамонова Н.Н.	46
Красильников А.А.	123	Паршин В.В.	81, 86, 87
Кратенко А.Ю.	66	Пастон С.В.	52
Крестьяникова М.А.	19	Пашнев В.В.	62
Кропоткина Е.П.	128, 153	Пегасов В.М.	110
Круглов В.В.	165	Перевалов В.И.	84
Круглов С.К.	153	Перов С.П.	97
Крупнов А.Ф.	81, 86, 87	Петров С.Б.	75
Крученицкий Г.М.	97, 119, 120	Петров Ю.В.	48, 49
Кудрявцев В.Н.	93	Петрушин А.Г.	42
Кузнецов В.С.	15, 19	Петтерссон Л.	126, 127
Кузовлев А.И.	25	Поберовский А.В.	124, 144
Кузьмина С.И.	100	Подрезов С.В.	158
Куликов А.К.	17	Поздняков Д.В.	127
Куликов Ю.Ю.	123	Покровский О.М.	34, 45
Куницын В.Е.	8	Полькин В.В.	58, 68
Курасов В.Б.	67	Поляков А.В.	110, 133, 155
Кутуза Б.Г.	124	Пономарев Ю.Н.	79
Кухарский А.В.	112	Постыляков О.В.	20, 30, 106, 141, 151
Лаврентьев Н.А.	74	Потапова И.А.	162
Лаврентьева Н.Н.	84	Потехин И.Ю.	80
Ладвищенко Ю.М.	83	Привалов В.И.	46, 157
Левин И.М.	137, 140, 143	Пригарин С.М.	19
Леонов В.Н.	153	Пузанов Ю.В.	31
Линский П.М.	161	Пучкин А.В.	50
Лукин А.Н.	153	Пхалагов Ю.А.	70
Ляковский А.В.	127	Радионон В.Ф.	36
Майлс В.В.	108	Радомысльская Т.М.	137
Макарова В.В.	43	Рахимов Р.Ф.	55
Макарова М.В.	124	Решетников А.И.	46
Макиенко Э.В.	55	Решетникова И.Н.	90
Максакова С.В.	17	Роговцов Н.Н.	23
Максимов С.В.	108	Рогозкин Д.Б.	25
Мальцев Г.Н.	158	Родимова О.Б.	77, 78, 88
Мальцев Д.В.	122	Розанов А.В.	30, 103,
Мандровская Е.А.	148	Розанов В.В.	11, 103, 106
Мануйлова Р.О.	79, 91	Розанов Е.В.	107
Махоткина Е.Л.	34	Розанов О.В.	126
Медведев В.А.	149	Розанов С.Б.	128, 153, 154
Мелентьев В.В.	126	Розанова Ю.Б.	100
Мелешко В.П.	146	Ролдугин В.К.	51, 53, 106
Митин И.В.	141	Романов С.В.	144
Митник Л.М.	104	Ромашова Е.В.	131
Михайленко С.Н.	73, 74	Ростомашвили З.И.	19
Мольков Я.И.	127	Рублев А.Н.	33, 35, 130
Мохов И.И.	147	Руднева Л.Б.	36
Музылев Е.Л.	132	Румянцев С.А.	53
Мухин Д.Н.	127	Рыбаков Ю.В.	124
Мясникова С.Е.	81, 86, 87	Рыскин В.Г.	123
Насретдинов И.М.	56	Рябова Л.М.	45
Наумов А.П.	138, 139	Савиных В.В.	43, 152, 164
Наумов В.В.	160	Савченко В.В.	137, 140, 143
Наумова Н.Н.	75	Саенко И.И.	153
Незваль Е.И.	44, 54	Сакерин С.М.	55, 56, 79, 95, 131
Нерушев А.Ф.	40, 99	Салин В.И.	164
Несмелова Л.И.	77, 78, 88	Самсонов И.В.	94, 101
Николаева О.В.	15	Сандвен С.	126
Николайшвили Ш.С.	19, 59	Свешников Ю.М.	83
Никольский Г.А.	43, 140	Свириденков М.А.	131
Образцов С.П.	109, 114, 124	Семенов А.О.	91
Овчинников В.В.	61	Семенов В.К.	115
Огибалов В.П.	80, 90	Семенова Н.В.	37
Одинец Г.С.	165	Сеник И.А.	152
Осадчий В.Ю.	140, 143	Сергель О.С.	143
Осипов В.М.	10, 85	Серебрянников А.Б.	78
Ошарин А.М.	59, 60	Сибир Е.Е.	36
Ошарина Н.Н.	138, 139	Сидоров В.Н.	7
Павлов В.Е.	62	Синельникова Г.Е.	90
Павлов Н.И.	156	Синькевич А.А.	102
Павлова Т.В.	146	Синяков В.П.	115

Скляр В.П.	37	Хворостовский К.С.	113
Скляр Ю.А.	37	Хорозов С.В.	149
Смеркалов В.А.	19	Чавро А.И.	112
Смертенко П.С.	160, 165	Чайка А.М.	144
Смирнов А.П.	75	Чаянова Э.А.	6, 89
Смокий О.И.	27, 32, 108	Черников А.А.	6
Собачкин А.А.	124	Чеснокова Т.Ю.	78
Соловьев В.И.	112	Чубарова Н.Е.	13, 33, 35, 51, 130
Соломонов С.В.	128, 153, 154	Шаламянский А.М.	98, 157
Сорокина Л.И.	115	Шанин В.Н.	81, 86, 87
Спорышев П.В.	146	Шатунова М.В.	147
Старцева З.П.	132	Шашкин А.В.	43, 140
Степаненко В.Д.	102	Швед Г.М.	80, 90, 91
Столяренко Р.Д.	165	Шиловцева О.А.	44, 45, 54
Стрелков С.А.	17	Шифрин К.С.	65
Суворов Е.В.	127	Шкаев А.П.	81
Сукач Г.А.	165	Шмырева А.Н.	165
Сушкевич Т.А.	12, 16, 17,	Шпенкух Д.	133
Ташкун С.А.	84	Шульц Э.О.	43
Творогов С.Д.	77, 78, 88	Шуляков Е.В.	72
Тереб Н.В.	40, 99	Щелканов Н.Н.	71
Теренецкая И.П.	39, 166	Щепкин Д.Н.	88
Терещенко Е.Д.	8	Щукин Г.Г.	109, 114, 124
Терпугова С.А.	58, 69	Элдевик Т.	93
Тетффо Ж.Л.	84	Юрганов Л.Н.	118
Тимофеев Ю.М.	98, 104, 106, 107, 110, 122, 124, 133, 136	Юрова А.Ю.	51
Тинсли Б.А.	51	Юрченко А.А.	52
Тихомиров А.Б.	63	Янковский В.А.	79, 91
Тихомиров Б.А.	63	Ясинский Г.И.	156
Тонков М.В.	76	Якушева Е.П.	58, 69
Трембач В.В.	33	Ackerman Th.	5, 115
Третьяков М.Ю.	81, 86, 87	Alexandrov M.D.	5
Третьяков Н.Д.	159	Barbe Alain	74
Троицкий А.В.	59	Bovensmann H.	11
Троян В.Н.	101	Bramstedt K.	11
Тюттерев Вл.Г.	74	Buchwitz M.	11
Уваров Н.В.	112	Burrows J.P.	11, 103
Удалова Т.А.	41	Cairns B.	5
Ужegov В.Н.	70	Carlson B.E.	5
Узюкова Т.В.	80	de Beek R.	11
Улюмджиева Н.Н.	33, 35	Eichmann K.-U.	11
Успенский А.Б.	104, 110, 112, 132, 144	Freitag M.	11
Устинов В.П.	115	Hoyningen-Huene W.	11
Фазлиев А.З.	74	Kaiser J.	11
Федулина И.Н.	148	Kassianov E.	5, 115
Фейгин А.М.	127	Kokhanovsky A.	11
Филиппов Н.Н.	76	Lacis A.A.	5
Фирсов К.М.	78, 79, 131	Lambert J.C.	98
Фокеева Е.В.	134	Marchand Roger	115
Фомин Б.А.	17, 41	Noel S.	11
Французов О.Н.	140	Ovtchinnikov M.	115
Фролькис В.А.	146	Richter A.	11
Хворостовская Л.Э.	80	Rozanov A.	11
		Tellmann S.	11
		Vountas M.	11