

МСАР- 2006

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ
СТРАН СНГ**

**АТМОСФЕРНАЯ
РАДИАЦИЯ
2006**

Сборник тезисов

**Санкт - Петербург
2006**

**МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

САНКТ - ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



**МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ
СТРАН СНГ
«АТМОСФЕРНАЯ РАДИАЦИЯ»
(МСАР - 2006)**

27 - 30 июня 2006 г., г. Санкт - Петербург

Сборник тезисов

Санкт - Петербург

2006

Симпозиум посвящен светлой памяти выдающегося российского ученого и прекрасного человека, бессменного Почетного председателя МСАР академика РАН **Кирилла Яковлевича Кондратьева**

ПРОВОДИТСЯ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:



Российского фонда
фундаментальных исследований

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

Мониторинг трансграничного переноса загрязнений в атмосфере Беларуси (Трансграничный мониторинг)

Иванов А.П.(ivanovap@dragon.bas-net.by), Чайковский А.П., Кабашников В.П.
Институт физики им. Б.И. Степанова НАНБ, пр. Независимости 68, Минск, Белоруссия

Катков В.Л.

Объединенный институт проблем информатики НАНБ, Минск, Белоруссия

Красовский А.Н.

Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы БГУ МО РБ, Минск, Белоруссия

В течение 2004–2005 гг. в Беларуси выполнялась Государственная программа "Трансграничный мониторинг" (ТМ), в которой осуществлялся контроль трансграничного переноса различного типа загрязнений в атмосфере. Использовались как локальные, так и дистанционные (лидарные, радиометрические, космические) методы измерений, разрабатывались различные модели переноса. В докладе будет задействован только круг вопросов, связанный с радиацией в атмосфере.

Создан или усовершенствован лидарный комплекс и спектральные фотометры для измерения содержания аэрозоля и озона, а также алгоритм совместной обработки данных лидаров и солнечных фотометров. Для получения информации по большим акваториям использовались материалы различных мировых сетей контроля состояния атмосферы.

Распределение аэрозоля по высоте в стратосфере имеет достаточно устойчивый характер, начиная с 1996 г. после извержения вулкана Пинатубо в 1991 г., атмосфера в стратосфере стала даже несколько прозрачнее, чем это было до 1991 г.

Распределение источников выбросов и процессы межрегионального переноса являются главными факторами, определяющими пространственные изменения характеристик аэрозольных полей. Анализ данных солнечных радиометров позволил выявить закономерности пространственных изменений интегральных по высоте параметров аэрозольного слоя на пространстве Европы. Для исследования высотной трансформации параметров аэрозоля были отобраны данные лидарных наблюдений, полученные в сети EARLINET. При выраженном западном переносе наблюдается значительный рост концентрации аэрозоля при переходе от западных регионов к восточным в интервале высот 50–2000 м и изменение ее при смене направления ветра. Аэрозольная нагрузка атмосферных масс после пересечения пространства Европы в Минске может возрасти до 5 раз. При этом концентрации оказываются выше средних значений, если рассматривать наблюдения вне периода западного переноса.

Разработана программа расчета трехмерных траекторий движения воздушных масс в свободной атмосфере и атмосферном пограничном слое. Изучено влияние крупных промышленных центров и пожаров на загрязнение территории Беларуси аэрозолями и различными газами.

Дается информация о высотном распределении озона и его полном содержании. Отмечается определенное возрастание с годами числа отрицательных озоновых аномалий в Беларуси. Описывается процесс перемещения в пространстве "озоновых дыр". Установлено, что в Западную Европу аномалии попадают чаще всего из Атлантики и продвигаются над Центральной и Северной Европой на северо-восток, реже на юго-восток. В Восточную Европу, в частности, на территорию европейской части России озоновые аномалии не всегда попадают с запада, а иногда приходят из акватории Баренцева моря. Эти области обычно продвигаются на юг, юго-восток. На территорию Беларуси отрицательные озоновые аномалии приходят как с запада, так и с севера.

Исследования средней атмосферы из космоса (эксперименты CRISTA 1 и CRISTA 2)

Косцов В.С. (vlad@troll.phys.spbu.ru)

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

В 1994 и 1997 гг. в ходе двух международных космических экспериментов с аппаратурой CRISTA (CRyogenic Infrared Spectrometers and Telescopes for the Atmosphere) были проведены уникальные комплексные исследования средней атмосферы.

С помощью оригинального метода интерпретации спектров неравновесного ИК излучения (полосы углекислого газа 15 мкм и озона 9.6 мкм), зарегистрированных аппаратурой CRISTA в области верхней стратосферы, мезосферы и нижней термосферы, одновременно получены вертикальные профили кинетической температуры (40–120 км), давления (40–120 км), содержания углекислого газа и озона (40–90 км), а также профили колебательных температур, описывающих неравновесную населенность колебательных состояний молекул углекислого газа и озона (высотный диапазон восстановления колебательных температур варьируется в зависимости от колебательного состояния, изотопической разновидности молекул и времени суток). Погрешности определения температуры составили 2–8 К, отношения смеси углекислого газа 15–25%. Погрешности определения значений содержания озона в дневное время составили 3–17% в диапазоне высот 40–65 км и 17–47% в диапазоне высот 65–90 км. В ночное время погрешности определения содержания озона составили 4–15% в интервале высот 40–70 км и 15–27% на высотах 70–90 км. Колебательные температуры определялись: (а) для состояния 01101 молекул углекислого газа четырех изотопических разновидностей: 626, 636, 628 и 627; (б) для состояния 00011 основного изотопа молекул углекислого газа; (в) для 6 групп колебательных состояний основного изотопа молекул озона (001, 100), (011, 110), (002, 101, 200), (021, 120), (012, 111, 210), (003, 102, 201). Погрешности определения колебательных температур существенно различны для различных состояний и времени суток. Широтный охват измерений в экспериментах CRISTA 1 (1994 г.) и CRISTA 2 (1997 г.) составлял 55S–65N и 72S–72N соответственно.

Проведено сравнение пространственных распределений параметров атмосферы, полученных по данным экспериментов CRISTA 1 и CRISTA 2. Результаты эксперимента CRISTA 2, как и результаты эксперимента CRISTA 1, свидетельствуют о том, что уменьшение отношения смеси углекислого газа начинается существенно ниже (в области 70 км) по сравнению с данными большинства современных моделей (85–90 км). Получены и проанализированы характеристики мезосферных инверсий температуры. Проведено сравнение этих характеристик с результатами модельных расчетов (использовалась модель общей циркуляции атмосферы HAMMONIA). Сопоставление средних профилей содержания озона (день, ночь) с рядом модельных профилей, показало, что результаты эксперимента CRISTA существенно превышают модельные значения.

Проанализирован большой объем данных о профилях содержания озона в мезосфере в нестационарных условиях (в период сумерек на заходе и восходе солнца). Исследованы значения величины эффекта нарушения локального термодинамического равновесия для совокупности колебательных состояний молекул углекислого газа и озона в глобальном масштабе для различного времени суток.

Исследования проведены при поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований (грант 06-05-64987) и Министерства образования и науки Российской Федерации (гранты РНП.2.1.1.4166 и РНП.2.2.1.1.3836).

Особенности восстановления температур из ИК-измерений в области летней полярной мезосферы и нижней термосферы – применение к TIMED/SABER

Феофилов А.Г. (artf@usm.lmu.de)

ORAU/NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD 20771, USA

Кутепов А.А.

CUA/NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD 20771, USA

Маршалл Б.Т., Гордли Л.Л.

GATS, Inc., 11864 Canon Blvd., Suite 101, Newport News, VA 23606, USA

Гольдберг Р.А., Пезнелл У.Д.

NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD 20771, USA

Расселл Д.М., III-й

Center for Atmospheric Research, Hampton University, Hampton, VA 23668, USA

Инфракрасный радиометр SABER (Sounding of the Atmosphere using Broadband Emission Radiometry), установленный на спутнике TIMED (Thermosphere, Ionosphere, Mesosphere Energetics and Dynamics) и работающий в режиме сканирования лимба, предназначен для измерения температурных профилей и газового состава мезосферы и нижней термосферы. Температурные профили восстанавливаются из излучения в 15 мкм полосе молекулы CO₂, что требует учета эффектов нарушения локального термодинамического распределения (ЛТР), проявляющихся в этой области атмосферы. Особенно ярко эффекты не-ЛТР выражены в районе летней полярной мезосферы вследствие холодной мезопаузы и высоких температурных градиентов при переходе от стратопазы к мезопаузе. При таких условиях восстанавливаемый температурный профиль оказывается чувствителен к модели и константам скоростей колебательно-трансляционного (V-T) и колебательно-колебательного (V-V) обмена энергией. Изменение этих констант может привести к изменению положения и температуры восстанавливаемой мезопаузы. Мы показали, что применение модифицированной модели V-V обмена квантами v_2 между изотопами молекулы CO₂ приводит к лучшему согласию температур, восстановленных из измерений SABER, с локально измеренными температурными профилями в мезосфере и нижней термосфере в период лета в средних и полярных широтах.

Радиотомография верхней атмосферы и ближнего космоса на базе разных навигационных систем

Куницын В.Е. (kunitsyn@phys.msu.ru), Андреева Е.С., Захаров В.И., Кожарин М.А.,
Нестеров И.А.

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, каф. физики атмосферы, физ. фак.,
Воробьевы горы, 119992 Москва, Россия*

Терещенко Е.Д.

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

Рассмотрены методы радиотомографии (РТ) верхней атмосферы и ближнего космоса с помощью низкоорбитальных систем (таких как российская "Цикада" или американский "Транзит") и РТ на основе высокоорбитальных систем таких как GPS/GLONASS. Представлены примеры использования систем низкоорбитальной РТ (НОРТ) и высокоорбитальной РТ (ВОРТ) раздельно и совместно.

В настоящее время существует около десятка действующих сетей НОРТ в различных регионах мира. Проведенные многочисленные НОРТ эксперименты позволили исследовать как известные ионосферные структуры (провалы, гребни экваториальной аномалии, перемещающиеся ионосферные возмущения, следы высыпаний и т.д.), так и ряд новых

(квазиволновые структуры, наклонные провалы ионизации, язык экваториальной аномалии, пальцеобразные структуры, локализованные неоднородности и др.). Проведены исследования сильных возмущений ионосферной плазмы, вызванных антропогенными факторами, в частности, возмущений, вызванных стартами ракет, промышленными взрывами, мощным КВ излучением и т.д. НОРТ позволяет также определять потоки плазмы, рассматривая последовательные во времени РТ-сечения ионосферы. При наличии нескольких линеек приемников, расположенных на расстояниях порядка нескольких сотен километров друг от друга, можно исследовать трехмерную структуру ионосферы.

С развертыванием глобальных навигационных систем GPS, GLONASS, Galileo появился новый исследовательский инструмент. Низкая угловая скорость движения спутников GPS делает принципиально необходимым учет временной изменчивости ионосферы, что неизбежно приводит к постановке задачи 4D томографии (три пространственные координаты и время). Однако, в отличие от двумерной НОРТ здесь необходима дополнительная процедура интерполяции найденных решений в области отсутствия данных. В докладе представлены примеры 4D реконструкций ионосферы по данным GPS и сопоставление результатов ВОРТ с измерениями ионозондов. Проанализированы пространственно-временные особенности ионосферы в зависимости от различных гелиогеофизических условий. Приведены примеры сопоставления результатов ВОРТ с результатами НОРТ. Разрешение ВОРТ значительно хуже разрешения НОРТ. Как правило, горизонтальное разрешение около 100 км в Европе и на большей части территории США. Показано, что совместное использование имеет существенные преимущества, дает возможность получать 3D ионосферные структуры в больших регионах за счет ВОРТ и заметно улучшить разрешение за счет присутствия систем НОРТ. Рассмотрены возможности ВОРТ тропосферы.

В докладе приведен анализ применения РТ и радиозатменного (РЗ) методов зондирования ионосферы и атмосферы. РЗ метод, дающий дополнительные данные на семействе квазикасательных лучей (доплеровские или фазоразностные данные на трассах спутник–спутник), является частным случаем томографического фазоразностного метода. РЗ метод дает хорошие результаты только в случаях протяженных областей (более 3000 км для ионосферы и более 600 км для атмосферы) со сферической слоистостью. Неоднородные структуры меньших масштабов, которые присутствуют в ионосфере и атмосфере, почти всегда приводят к искаженным результатам. Комбинированное применение НОРТ, ВОРТ и РЗ метода позволяет заметно улучшить разрешение и качество томографических реконструкций.

Недостатки современных моделей радиационного теплообмена атмосферы и их устранение с помощью усовершенствованного метода К-распределения

Фомин Б.А. (b.fomin@mail.ru)

РНИЦ «Курчатовский Институт», пл. И.В. Курчатова 1, 123182 Москва, Россия

К настоящему моменту разработано большое число моделей радиационного теплообмена атмосферы для задач теории климата и предсказания погоды, физики облаков и других приложений. При этом подавляющая часть современных моделей основана на методе корреляции К-распределения, предложенного В.А. Амбарцумяном еще в 1936 г. и детально разработанного для земной атмосферы около 20 лет назад. Поэтому эти модели имеют общие и хорошо известные недостатки: далеки от возможно достижимого быстрогодействия, а также неэффективны для описания радиации в верхней атмосфере и в случае перекрывающихся полос атмосферных газов. Также, что было показано еще ~ 10 лет назад Еспинозой и Харшвардханом, эти модели неадекватно описывают потоки и притоки радиации в облачной

атмосфере, особенно внутри облаков. Следует подчеркнуть, что в рамках метода корреляции К-распределения эти недостатки не могут быть эффективно устранены.

В докладе представлена принципиально новая разновидность метода К-распределения, позволяющая устранить все эти недостатки: в 2–3 раза увеличить быстродействие, легко описывать радиацию в верхней атмосфере и перекрывание полос атмосферных газов и т.п. Особо следует отметить, что новый метод позволяет легко учитывать корреляцию в поглощениях радиации водяным паром и облачными частицами. Показано, что именно пренебрежение этой корреляцией ответственно за вышеуказанную неадекватность современных моделей и проблемы типа "аномального поглощения". Кратко рассмотрена параметризация, разработанная на основе данного метода, состоящая всего из 23 и 15 К-членов для описания тепловой и солнечной радиаций, соответственно (что в 2–3 раза меньше числа К-членов известных параметризаций).

Aerosol Robotic Network activity in Russia, Moldova, Estonia, Belarus, and Ukraine – as an example of the mutually beneficial collaborative effort – results and prospective

Smirnov A. (asmirnov@aeronet.gsfc.nasa.gov)

Goddard Earth Sciences and Technology Center, University of Maryland – Baltimore County, Baltimore, Maryland, USA

NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, USA

Holben B.N.

NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, USA

Panchenko M.V., Sakerin S.M.

Institute of Atmospheric Optics, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Tomsk, Russia

Aculinin A.A.

Institute of Applied Physics, Academy of Sciences of Moldova, Kishinev, Republic of Moldova

Chubarova N.Ye.

Meteorological Observatory, Moscow State University, Moscow, Russia

Karner O.

Institute of Astrophysics and Atmospheric Physics, Estonian Academy of Sciences, Toravere, Estonia

Chaikovsky A.P.

Institute of Physics, Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Sukhinin A.I.

Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Krasnoyarsk, Russia

Pavlov V.E.

Institute for Water and Environmental Problems, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Barnaul, Russia

Kopelevich O.V.

Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Radionov V.F.

Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

Korotaev G.K.

Marine Hydrophysical Institute, National Academy of Science of Ukraine, Sevastopol, Ukraine

Aerosol Robotic Network (AERONET) is a worldwide sun photometer network for monitoring atmospheric aerosol optical properties. AERONET deploys the standardized instrumentation (automatic Sun and sky scanning radiometers CIMEL), calibration procedure, measurement protocol, maintenance, processing, cloud-screening algorithm and inversion technique to retrieve information on columnar aerosol characteristics. Aerosol optical depth, columnar water

vapor content, aerosol volume size distribution (retrieved from sun and sky radiances) in the total column, real and imaginary parts of the refractive index, and single scattering albedo are the standard data products. Data are publicly available on the Internet (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov>) in the near real-time mode. AERONET is an internationally federated network incorporating AERONET, managed by NASA, PHOTON (French part of the network), AEROCAN (Canadian part), AEROSIBNET (Russian part), and instruments from various institutions, university collaborators and other entities. AERONET sites on the territory of the former Soviet Union and measurement periods are listed in Table 1.

Measurements in urban and rural locations provide a solid data set needed for climate and radiation studies. AERONET made significant gains establishing a network in Siberia that is subject to arctic haze and summer biomass burning. We hope to expand our activity to the European part of Russia, Middle Asia (Kazakhstan, Kyrgyzstan) and the Caucasus. Recently hand-held sunphotometers Microtops calibrated at the Goddard Space Flight Center were successfully deployed onboard the R/V Akademik Sergey Vavilov and R/V Akademik Fedorov to study aerosol optical properties over the oceans.

Table 1

Geographical distribution of AERONET sites

Site	Measurement period	Latitude	Longitude	Elevation
Barnaul, Russia	Mar 26, 1999–Mar 13, 2000	53°20′ N	83°46′ E	15 m
Kishinev, Moldova	Sep 3, 1999 - present	47°00′ N	28°49′ E	205 m
Krasnoyarsk, Russia	Feb 23, 2001 – Oct 13, 2004	55°59′ N	92°46′ E	202 m
Moscow, Russia	Aug 29, 2001 - present	55°42′ N	37°30′ E	192 m
Toravere, Estonia	Jun 3, 2002 - present	58°15′ N	26°27′ E	70 m
Minsk, Belarus	Jul 30, 2002 - present	53°51′ N	27°30′ E	200 m
Tomsk, Russia	Oct 24, 2002 - present	56°28′ N	85°02′ E	130 m
Irkutsk, Russia	Jan 16, 2004 - present	51°48′ N	103°05′ E	670 m
Yakutsk, Russia	May 22, 2004 - present	61°39′ N	129°22′ E	118 m
Yekaterinburg, Russia	May 27, 2004 - present	57°02′ N	59°32′ E	300 m
Ussuriysk, Russia	Dec 5, 2004 - present	43°42′ N	132°09′ E	280 m
Sevastopol, Ukraine	May 2, 2006 - present	44°36′ N	33°37′ E	15 m
Zvenigorod, Russia	2006	55°43′ N	36°52′ E	150 m

СЕКЦИЯ 1. ТЕОРИЯ ПЕРЕНОСА ИЗЛУЧЕНИЯ – НОВЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ

Председатель: Л.П. Басс (ИГМ РАН, Москва)

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

Применение принципа максимума Т.А. Гермогеновой к оценке размеров пограничных слоев вблизи вертикальной границы облако-аэрозоль

Николаева О.В. (nika@kiam.ru)

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

При решении задач о переносе солнечного излучения в атмосфере стремятся пользоваться 1D плоской моделью, которая позволяет проводить расчеты при наименьших временных затратах. Однако эта модель применима по преимуществу в тех задачах, где можно пренебречь горизонтальными вариациями коэффициентов уравнения переноса (сечения экстинкции, альbedo однократного рассеяния и индикатрисы). Если эти вариации значительны, приходится использовать 2D и даже 3D модели, что приводит к значительному увеличению вычислительных затрат.

В частности, многомерные модели необходимо применять вблизи вертикальной границы облака в *пограничных слоях*, в которых влияние этой границы на интенсивность рассеянного света существенно. Актуальной является задача оценки размеров этих слоев [1].

В настоящей работе предложена математическая модель, позволяющая получить априорные оценки этих размеров в зависимости от значений коэффициентов уравнения переноса и направления падения солнечного излучения. Модель опирается на *принцип максимума* для уравнения переноса [1, 2], и получение оценок не требует его решения.

Выполнено сравнение найденных оценок с результатами численных расчетов для некоторых модельных задач.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект №04-01-00404

1. Cahalan R.F., Oreopoulos L., et al. I3RC. Bringing Together the Most Advanced Transfer Tools for Cloudy Atmospheres. *BAMS*, 2005, September, 1275–1293.
2. Гермогенова Т.А.. Принцип максимума для уравнения переноса. *ЖВМ и МФ*, 1962, 2, 1, 169–174.
3. Гермогенова Т.А. *Локальные свойства решений уравнения переноса*. М. Наука, 1985.

Аналитический подход к расчету поля радиации для облака-куба

Басс Л.П. (bass@kiam.ru), Николаева О.В.

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

Мельникова И.Н. (Irina.Melnikova@pobox.spbu.ru)

Научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН, Корпусная ул. 18, 197110 Санкт-Петербург, Россия

Кузнецов В.С.

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

Предложен феноменологический вывод асимптотических формул для расчета поля радиации в случае облака кубической формы. Выход радиации через боковые грани учитывается так же, как выход радиации через нижнюю границу в известных асимптотических формулах для слоя конечной оптической толщины [1, 2]. В задаче принимаем прямоугольную систему координат. Грани, перпендикулярные осям x , y или z обозначим соответствующими нижними индексами, причем пусть все ребра имеют оптическую толщину τ_0 . Примем для простоты альbedo подстилающей поверхности (нижняя грань z) $A = 0$. Для косинусов углов падения солнечных лучей и выхода радиации на гранях легко сформулировать очевидные соотношения. В известных асимптотических формулах

отдельное слагаемое, включающее функции выхода $u(\zeta)$ и $u(\eta)$, описывающие угловую зависимость входящей и выходящей радиации, учитывает наличие нижней границы (конечность оптической толщины слоя) и выход через нее радиации из слоя $u(\zeta_x)$. Добавим грани перпендикулярные осям x и y . Ориентация боковых граней куба по отношению к Солнцу можно учесть азимутальными углами φ_x и φ_y . Тогда добавится падающая на облако радиация, приходящая с граней x и y , направленных на Солнце. Кроме того, радиация будет выходить из облака через боковые грани x и y , находящиеся с противоположной Солнцу стороны, аналогично нижней грани в известных асимптотических формулах. Поэтому, добавив соответствующие слагаемые, включающие функции выхода $u(\zeta_x)$ и $u(\zeta_y)$, можно надеяться описать радиацию выходящую и входящую через грани x и y соответственно. Для вычисления потоков радиации сверху и снизу облака-куба необходимо произвести интегрирование с учетом радиации, выходящей с боковых граней вверх и вниз. Такие характеристики уже можно сравнивать с результатами спутниковых или наземных наблюдений. Понятно, что реальное поле излучения в случае облака, ограниченного боковыми гранями, сложнее предлагаемой упрощенной схемы. Однако, простой аналитический вид полученных выражений весьма полезен не только для расчетов прямой задачи но и предоставляет возможности аналитического решения обратной задачи (определение оптических характеристик ограниченного облака из измеренных характеристик радиации).

Для проверки, насколько точно предложенные формулы позволяют рассчитать интенсивности или потоки радиации вокруг облака-куба выполнено сравнение с результатами расчетов, полученных по программе Радуга-5.2(П) методом дискретных ординат.

1. Гермогенова Т.А. О характере решения уравнения переноса для плоского слоя. *Журн. выч. мат. и мат. физ.*, 1961, 1, 6, 1001–1019.
2. Van de Hulst H.C. *Multiple Light Scattering. Tables, Formulas and Applications*. v. 1. Academic Press, 1980, 739 p.

Выделение особенностей решения уравнения переноса излучения на основе малоуглового приближения

Будак В.П. (BudakVP@mpei.ru)

Московский энергетический институт, Красноказарменная 14, 111250 Москва, Россия

Методы решения краевых задач уравнения переноса излучения (УПИ) стоят особняком в теории математической физике. Это связано со спецификой этих задач: перенос излучения происходит в пятимерном пространстве координат и направлений; отражение на границе раздела сред создает интегральные краевые условия; физическая модель теории переноса – лучевое приближение – порождает особенности в искомом угловом распределении яркости; экспоненциальное ослабление яркости вдоль луча приводит к плохой обусловленности матрицы системы при любом численном методе решения УПИ.

Первая проблема решается выбором разностной системы базовых функций для представления решения, вторая – методом декомпозиции, а плохая обусловленность устраняется масштабным преобразованием. Наличие особенностей по углу делает неэффективным любой численный метод решения УПИ. Оптимальным способом устранения особенностей является использование пусть приближенного метода решения УПИ, но включающего все особенности точного. Таким методом решения является малоугловое приближение (МУП), физически являющееся развитием параксиального приближения на случай оптики мутных сред. Вычитание МУП приводит к формулировке УПИ для гладкого остатка, нахождение которого не представляет труда любым численным методом, однако в уравнении появляется функция источников.

Сложность решения полученного уравнения зависит от аналитического вида функции источников, которая приобретает простейший вид при выборе малоугловой модификации

метода сферических гармоник (МСГ). МСГ является наиболее общей формой МУП и из него следуют все остальные формы при малых углах визирования или сильной анизотропии рассеяния. Достоинством МСГ является его аналитическое представление в виде ряда по сферическим гармоникам, что на основании теоремы сложения для полиномов Лежандра существенно упрощает вид функции источников. Нами предлагается решение УПИ в МСГ для любого фундаментального источника в скалярном и векторном случае. Показано, что МСГ для любого фундаментального источника содержит все особенности точного.

Аналитический вид МСГ предполагает наиболее очевидным использование метода сферических гармоник (СГ) для определения гладкой добавки, однако более эффективно решение полученного уравнения методом дискретных ординат, который позволяет легко включить произвольный закон отражения на границах и обобщение на трехмерную (3М) геометрию среды. Проведенные исследования показали, что добавка к МУП является гладкой функцией, как угла визирования, так и координат. Это позволяет в случае произвольной 3М среды воспользоваться методом конечных элементов с разбиением среды на сетку узлов, в каждом из которых хранятся дискретные ординаты распределения яркости по углу и аппроксимацией функции источников между узлами.

При таком подходе количество уравнений в системе может достигать нескольких сотен тысяч. Наиболее эффективным методом решения таких систем уравнений является метод итераций, при котором добавка представляется в виде ряда Неймана по кратностям рассеяния, а интегрирование проводится по лучу. В известной степени данный алгоритм напоминает SHDOM K.F. Evans, существенно превосходя его по скорости сходимости за счет аналитического учета особенностей точного решения.

Математическая модель отражения поляризованного излучения от подстилающей поверхности для сильно анизотропного рассеяния

Коркин С.В., Будаков В.П. (BudakVP@mpei.ru)

Московский энергетический институт, Красноказарменная 14, 111250 Москва, Россия

Состояние поляризации, количественно выражаемое четырехкомпонентным яркостным вектор-параметром Стокса, является наиболее полной характеристикой излучения [1]. Информация, извлекаемая из поляризационных компонент вектора Стокса, активно используется, например, при спутниковом дистанционном зондировании (системы Polder, Parasol). Решение векторного уравнения переноса излучения (ВУПИ) связано как с трудностями, присущими скалярному случаю, так и со специфическим матричным характером описания переноса поляризованного излучения, что ведет к увеличению времени расчета, возможному ухудшению обусловленности решения, трудностями в использовании формального математического аппарата. Весьма эффективным для этих проблем представляется путь решения ВУПИ на основе вычитания не прямой сингулярной составляющей [2], а аналитического решения в векторной малоугловой модификации метода сферических гармоник (ВМСГ) с последующим определением гладкой немалоугловой добавки методом дискретных ординат. Этот метод хорошо зарекомендовал себя в скалярном случае как малоугловая модификация метода сферических гармоник (МСГ).

В настоящей работе рассматривается плоскопараллельный слой мутной среды, облучаемый плоским мононаправленным источником и имеющий аэрозольную матрицу рассеяния по модели Heney-Greenstein. Направление падения и характер поляризации падающего излучения произвольны. Без потери общности нижняя граница слоя считается неотражающей [3].

Искомое пространственное распределение вектора яркости ищется в виде разложения по обобщенным сферическим функциям (ОСФ) на базе обобщенных полиномов Лежандра, свойства которых известны [4] и которым придается матричный вид [5] для сохранения формальной аналогии решения со скалярным случаем. С целью диагонализации матрицы

ротатора и раскрытия интеграла рассеяния ВУПИ [6] вектор яркости рассматривается в комплексном циркулярном базисе СР-представления (Circular polarization) вместо действительного яркостного SP-представления (Stokes polarization). Известны матричная связь СР- и SP-представлений и разложение матрицы рассеяния по ОСФ. Таким образом, можно получить систему дифференциальных уравнений для комплексных вектор-коэффициентов разложения яркости. Обратное матричное преобразование позволит оперировать с действительными энергетическими коэффициентами разложения.

Векторная малоугловая модификация метода сферических гармоник (векторное МСГ) для произвольного угла облучения строится в системе отсчета угла визирования от направления падения лучей на слой. Для реальных сильно анизотропных индикатрис (естественные воды, облака) пространственный спектр (коэффициенты разложения по ОСФ) приближается слабо меняющейся функцией, аргументом которой является величина, совпадающая в целочисленных точках с номером гармоники. Данная функция раскладывается в ряд Тейлора, ограниченный, вследствие сильной анизотропии, двумя членами разложения. Полученное дифференциальное уравнение для коэффициентов разложения яркости является более простым, чем в общем случае за счет пренебрежения в ВМСГ обратным рассеянным излучением. Граничное условие также формулируется в векторной форме. Основное достоинство ВМСГ – ускорение сходимости решения к точному, для получения которого гладкая малоугловая добавка ищется методом дискретных ординат.

Возможны два пути построения ВМСГ. Первый – пренебрежение в полученном дифференциальном уравнении слагаемыми, содержащими синус угла падения излучения на слой (устремление угла облучения к нулю). Слагаемые, содержащие косинус угла падения, остаются без изменений, что приводит к простому выражению искомых коэффициентов через матричную экспоненту. Второй путь – решение полученного дифференциального уравнения без дополнительных условий на угол облучения методом интегрирования вдоль характеристики.

Полная яркость пучка лучей для полученного решения сравнивается со скалярным приближением по методу сферических гармоник, для малых оптических толщ и слабоссеивающих сред сравнение проводится с решением в приближении однократного рассеяния. В общем случае результат оценивается путем сравнения с методом Монте-Карло, модифицированным однократной локальной оценкой.

3. Розенберг Г.В. Вектор-параметр Стокса (Матричные методы учета поляризации излучения в приближении лучевой оптики). *УФН*, 1955, **56**, 1, 77–110.
4. Чандрасекар С. *Перенос лучистой энергии*. М.: ИЛ, 1953, 431 с.
5. Сушкевич Т.А., Стрелков С.А., Иолтуховский А.А. *Метод характеристик в задачах атмосферной оптики*. М.: Наука, 1990, 296 с.
6. Гельфанд И.М., Минлос Р.А., Шапиро З.Я. *Представления группы вращений и группы Лоренца*. М.: Физматгиз, 1958, 368 с.
7. Устинов Е.А. Метод сферических гармоник: приложение к расчету поляризованного излучения в вертикально неоднородной планетной атмосфере. Математический аппарат. *Косм. иссл.*, 1988, **26**, 4, 550–562.
8. Kušcer I., Ribarič M. Matrix Formalism in the Theory of Diffusion of Light. *Optica Acta*, 1959, 6, 1, 42–51.

ОПФ слоя мутной среды с произвольным распределением оптических параметров

Меламед О.П., Будак В.П. (BudakVP@mpei.ru)

Московский энергетический институт, Красноказарменная 14, 111250 Москва, Россия

Предлагается новый метод решения уравнения переноса излучения (УПИ) для точечного изотропного (ТИ) источника в плоском слое мутной среды с произвольным распределением оптических параметров. Найденное решение представляет собой функцию рассеяния точки (ФРТ), преобразование Фурье от которой есть оптическая передаточная

функция (ОПФ) слоя мутной среды. При таком подходе к определению ОПФ слоя мутной среды учитывается тот факт, что формирование изображения, получаемого, например, со спутника, происходит сканированием объекта по углу визирования.

Для произвольных мутных сред характерно нарушение локальной компактности пространства, приводящее к появлению особенностей в решении для пространственно ограниченных источников, что делает неэффективным классический подход к решению УПИ численными методами.

Введение аппроксимации, аналогичной малоугловой модификации метода сферических гармоник (МСГ), позволяет свести задачу к случаю плоского мононаправленного (ПМ) источника при нормальном падении на слой, но с существенно более острой индикатрисой рассеяния. Это преобразование приводит к существенному возрастанию количества членов ряда для описания решения, что делает матрицу системы плохо обусловленной. С другой стороны, такое преобразование в наибольшей степени искажает зависимость гармоник для малых оптических расстояний, что и учитывается вычитанием малоугловой составляющей и позволяет получить решение в случае бесконечной среды.

Решение УПИ для ТИ-источника в плоском слое мутной среды также имеет особенности по углу и по радиусу, для их устранения решение представляется в виде суммы двух функций: МСГ и оставшейся гладкой части, так как МСГ содержит все особенности точного решения. Дальнейшее решение УПИ проводится только для гладкой функции, не содержащей особенностей. МСГ является развитием приближения Гаудсмита-Сандерсона, имеющего аналитический вид ряда по сферическим функциям, что максимально упрощает на основе теоремы сложения выражение для функции источников.

Так как функция, оставшаяся после вычитания малоугловой составляющей, является гладкой, медленно изменяющейся в пространстве своих аргументов, это позволяет в соответствии с методом конечных элементов построить в пространстве сетку, в узлах которой будут храниться дискретные ординаты. Промежуточные значения можно вычислить по одной из схем аппроксимации. Использование метода дискретных ординат позволяет учесть произвольный закон отражения на границе слоя и трехмерные распределения оптических параметров среды. Чем более сложные распределения параметров среды приходится учитывать, тем меньше должен быть шаг сетки по дискретным ординатам, поэтому для описания реальных задач этим методом строится система из очень большого числа уравнений. Дальнейшее решение полученной системы уравнений проводится методом итераций, так как это позволяет распараллелить процесс вычислений и тем самым значительно сократить время счёта.

В предлагаемом методе учитывается дисперсия путей рассеянных фотонов, что позволяет оценить погрешности малоуглового приближения для различных параметров трехмерных сред. Расчёты показали, что учёт дисперсии путей рассеянных фотонов снижает значения ОПФ в зоне низких пространственных частот, а расчёты в малоугловом приближении несколько завышают поле рассеянного вперед излучения в зоне "больших" (более 30°) углов.

Плоская геометрия среды нарушает сферическую симметрию распределения яркости поля ТИ-источника, что приводит к зависимости ФРТ от точки наблюдения, нарушает инвариантность системы и делает невозможным введение ОПФ всей системы в целом. Однако возможно определение области инвариантности вблизи направления визирования, что позволяет ввести понятие ОПФ, но при наклонном наблюдении ФРТ теряет свою круглую симметрию, ОПФ становится комплексной функцией, т.е. в системе возникают фазовые искажения.

Численное решение уравнения переноса излучения для точечного мононаправленного источника в средах с сильно анизотропным рассеянием

Соколов К.С., Будак В.П. (BudakVP@mpei.ru)

Московский энергетический институт, Красноказарменная 14, 111250 Москва, Россия

В ходе решения задачи восстановления параметров мутной среды по лидарному сигналу с учетом многократного рассеяния, были рассмотрены вопросы моделирования светового поля точечного мононаправленного (ТМ) источника в мутной среде с сильно анизотропным рассеянием. Следует заметить, что переход к источникам конечных размеров и, в частности, к лазерам производится по методу функций Green, с использованием интеграла суперпозиции функции источников и функции Green – светового поля ТМ источника.

Методом расчета поля яркости ТМ источника была выбрана малоугловая модификация метода сферических гармоник (МСГ). Основной сложностью при расчете являлось наличие особенностей в пространственно-угловом распределении яркости в первых трёх кратностях рассеяния, и, как следствие, сильные осцилляции в решении. Для улучшения сходимости было произведено вычитание сначала нулевой, а затем первой кратности из решения. Выделение кратностей производилось путем разложения малоуглового решения в ряд по степеням оптического расстояния. При этом нулевой член ряда – прямая составляющая, а первый – первая кратность. В результате, удалось значительно снизить осцилляции в решении и добиться хороших результатов при сравнительно небольшом количестве коэффициентов разложения и, следовательно, малом времени расчета. Существенное ускорение в суммировании ряда по сферическим функциям было достигнуто при использовании аппроксимации сплайном коэффициентов ряда от номера гармоники.

Для проверки точности расчета по методу МСГ решение сравнивалось с точным однократным. Расчеты показывают, малоугловое решение сходится с точным однократным при малых оптических толщах, а первая кратность рассеяния – при любых оптических параметрах. Для больших оптических толщ проводилось сравнение со статическим моделированием по методу Монте-Карло (МК). Особенностью и основой метода МК являлось использование двойной локальной оценки. При этом решение содержит все кратности рассеяния, начиная со второй. Показано, что для больших оптических толщ поле хорошо описывается в диффузионном приближении, в которое переходит МСГ в этом случае.

Для лазерного излучения существует экспериментальное наблюдение, что направление на максимум яркости смещено на $x/3$ от источника вдоль луча, где x – расстояние от источника вдоль луча до основания перпендикуляра от точки визирования на луч. В работе показано, что для больших оптических толщ и для кратностей выше третьей данный эффект имеет место и для ТМ источника.

В работе аналитически показано, что малоугловая модификация метода сферических гармоник содержит все кратности решения. Этим можно воспользоваться и при нахождении полного решения и представить его в виде суммы: малоугловой составляющей и некоторой добавки, которая будет являться гладкой функцией, т.к. все особенности содержатся в малоугловой части. Далее, решая уравнение переноса излучения (УПИ) относительно этой добавки, можно получать распределения яркости от ТМ источника на большие углы, в том числе и в обратную полусферу.

Модель переноса излучения в атмосфере MCC++: исследование влияния поляризации и свойств подстилающей поверхности на точность расчета весовых функций

Постыляков О.В. (ovp@ifaran.ru), Митин И.В.

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

Сферическая векторная модель переноса MCC++ позволяет одновременно эффективно вычислять интенсивность рассеянного излучения и его производные по коэффициентам объемного поглощения [1, 2]. Для расчета многократно рассеянного излучения модель использует метод Монте-Карло. Расчет производных по коэффициенту объемного поглощения необходим при дистанционном зондировании для определения весовых функций возникающих обратных задач.

Модель переноса была усовершенствована для описания поляризационной Двухнаправленной Функции Отражения (ДФО) подстилающей поверхности. Поляризационная ДФО описывает вектор-параметра Стокса отраженного излучения в зависимости от направлений падения и отражения. Новая версия модели позволяет также вычислять производные интенсивности излучения по альбедо ламбертовой поверхности или по параметру поляризационной ДФО. Новые свойства модели MCC++ наиболее существенны при моделировании надирных измерений, выполняемых для определения свойств приземного аэрозоля и подстилающей поверхности такими спутниковыми приборами как, например, SCIAMACHY, OMI, GOME 2, POLDER/Parasol.

Приводятся примеры расчета весовых функций для различных моделей подстилающей поверхности. Кроме описания излучения с помощью вектор-параметра Стокса, возможно его упрощенное представление в виде скалярной величины, равной интенсивности излучения. Ряд исследований показал, что ошибки такого скалярного представления могут достигать 10–15% интенсивности и иметь произвольный знак [3]. В работе впервые исследованы ошибки в расчете весовых функций, вызванные упрощенным скалярным моделированием излучения. Анализируются связанные с этим ошибки определения содержания газов для ряда распространенных схем наземных измерений газов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 05-05-65139.

1. Постыляков О.В. Модель переноса радиации в сферической атмосфере с расчетом послойных воздушных масс и некоторые ее приложения. *Изв. РАН, ФАО*, 2004, **40**, 3, 319–334.
2. Postylyakov, O.V. Linearized vector radiative transfer model MCC++ for spherical atmosphere. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, accepted, 2004b.
3. Postylyakov, O.V., I.V. Mitin. Modeling of effect of polarization on UV sky radiance during twilight. *Adv. Space Res.*, doi:10.1016/j.asr.2005.04.019, 2005, **5**(3), 465–469.

Монте-Карло алгоритм для полинейных вычислений потоков тепловой радиации в рассеивающей горизонтально однородной атмосфере

Фомин Б.А. (b.fomin@mail.ru)

РНЦ «Курчатовский Институт», пл. И.В. Курчатова 1, 123182 Москва, Россия

Представлен алгоритм вычисления потоков тепловой радиации в рассеивающей атмосфере, основанный на полинейном и Монте-Карло методах. Эффективность алгоритма позволяет "точно" учитывать как селективное газовое поглощение, так и рассеяние радиации на частицах аэрозоля и облаков в любых спектральных интервалах, используя обычные компьютеры. Он может быть рекомендован для проверки точности параметризации тепловой радиации, исследования радиационного теплообмена атмосферы, теории облакообразования и других приложений. Настоящая версия алгоритма предназначена для вычислений в горизонтально однородной атмосфере, но также будет кратко рассмотрена возможность его обобщения для трехмерной геометрии.

Перенос солнечной радиации в системе океан-атмосфера: моделирование методом Монте-Карло

Каргин А.Б., Каргин Б.А. (arseny@academ.org), Пригарин С.М.

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

Исследование закономерностей переноса солнечной радиации в системе океан-атмосфера играют важную роль при решении целого ряда задач атмосферной оптики и гидрооптики. В частности, задач аэрокосмического оптического зондирования поверхности и дна океана, а также микрофизических и оптических характеристик водной среды. В рассматриваемой модели процесс переноса оптического излучения в общем случае описывается стохастическим интегральным уравнением переноса, ядро которого зависит от ряда случайных функций, моделирующих ветровое волнение морской поверхности и стохастическую структуру оптических параметров аэрозольной атмосферы и водной среды. На случайно-неоднородной поверхности раздела вода-воздух учитываются эффекты преломления и отражения излучения.

Для моделирования процесса переноса оптического излучения в указанной системе применяется весовой метод Монте-Карло, основанный на "методе зависимых испытаний", позволяющем избежать трудоёмкой процедуры построения реализаций случайно-неоднородной поверхности раздела океан-атмосфера. Алгоритмы реализованы в виде процедур, являющихся функциональным наполнением разрабатываемой автоматизированной системы статистического моделирования задач оптики атмосферы и океана. Приведены численные примеры реализации алгоритмов, в частности, для задачи видимости дна океана из космоса.

Когерентные эффекты многократного рассеяния и метод Монте-Карло

Кузьмин В.Л. (vladimir.kuzmin@paloma.spbu.ru)

Санкт-Петербургский торгово-экономический институт, 194021 Санкт-Петербург, Россия

Меглинский И.В.

Саратовский государственный университет им.Н.Г. Чернышевского, 410026, Саратов, Россия

Чурмаков Д.Ю.

Cranfield University, School of Engineering, Cranfield, MK43 0AL, UK

Из сопоставления итерационной процедуры решения уравнения Бете-Солпитера и метода Монте Карло, в рамках единого стохастического подхода показана возможность описания когерентных эффектов в условиях многократного рассеяния. Рассчитаны временная корреляционная функция и интерференционная составляющая когерентного обратного рассеяния от многократно рассеивающей среды.

Многочленные асимптотики для коэффициентов яркости плоскопараллельной дисперсной среды для случая произвольной индикатрисы рассеяния

Роговцов Н.Н. (rogovtsov@bntu.by)

Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости 65, 220027 Минск, Беларусь

В рамках допущений об изотропности и консервативности акта рассеяния света В.В.Соболев в 1956 г. впервые получил для случая плоскопараллельной среды асимптотические выражения для коэффициентов яркости ρ и σ , которые содержали два

члена для коэффициента отражения ρ и один для коэффициента пропускания σ . Данные асимптотики справедливы при $\tau_0 \rightarrow +\infty$, где τ_0 – оптическая толщина этой среды. В 1961 г. Т.А. Гермогенова для случая произвольной индикатрисы рассеяния и любого альбедо однократного рассеяния $\Lambda (\Lambda \in (0,1])$ на основе математически строгих рассуждений по существу нашла общий вид асимптотических формул для ρ и σ при $\tau_0 \rightarrow +\infty$. Затем в 1968 г. Н.С. van de Hulst и В.В. Соболев посредством использования физических соображений и идей, положенных В.А. Амбарцумяном в основу метода сложения слоев, представили соответствующие асимптотики для нулевых азимутальных гармоник коэффициентов яркости в более удобном и ясном с физической точки зрения виде. В 1977 г. Х. Домке удалось обобщить эти асимптотические формулы для векторных аналогов коэффициентов яркости, задающих параметры Стокса излучения, отраженного и пропущенного оптически толстой плоскопараллельной средой, которая облучается бесконечно широким мононаправленным пучком света. Все указанные выше асимптотики содержали не более двух членов. При этом при их записи использовалась только информация о минимальном неотрицательном дискретном корне характеристического уравнения теории переноса излучения (РТТ), соответствующей ему собственной функции, решении проблемы Милна и коэффициенте отражения от полубесконечной среды. Однако для случая реальных анизотропных индикатрис рассеяния характеристическое уравнение РТТ может иметь несколько или бесконечное число дискретных корней. Это обстоятельство не позволяет использовать упомянутые асимптотики, например, для получения достаточно точных приближенных аналитических представлений для характеристик полей излучения в дисперсных средах и корректного решения обратных задач РТТ для широкого диапазона изменения параметров τ_0 , Λ и функционального вида индикатрисы рассеяния.

На принципиальную возможность получения многочленных асимптотик для ρ и σ , в которых бы учитывалась информация обо всем дискретном спектре характеристического уравнения (СЕ) для случая полиномиальных индикатрис рассеяния, указал Н.В. Коновалов в 1974 г. Используя метод Кейса он выявил общую структуру асимптотических формул для ρ и σ , для конкретизации которых, однако, требовалось решить специальную систему линейных алгебраических уравнений (ее порядок определялся числом дискретных корней СЕ). Но вопросы, относящиеся к установлению разрешимости и эффективному решению этой системы, рассмотрены не были. К сказанному следует добавить то, что, хотя идея метода Кейса несомненно плодотворна при изучении общих качественных проблем, он практически непригоден для построения явных решений краевых задач РТТ, когда индикатриса рассеяния не является полиномиальной.

В докладе будет изложен эффективный метод получения различных асимптотик коэффициентов яркости ρ и σ для случая произвольной квадратично суммируемой индикатрисы рассеяния и любых альбедо однократного рассеяния ($\Lambda \in (0,1]$). Идея данного метода основана на использовании общих соотношений инвариантности (GIR), процедура получения которых была предложена в работах [1–3], явном аналитическом представлении функции Грина уравнения переноса излучения для случая бесконечной плоскопараллельной среды и решении в замкнутой форме СЕ [4, 5]. Будет показано, что с помощью GIR можно получить отдельные интегральные уравнения (ИЕ) для ρ и σ , ядра которых выражаются через произведения обычных или "усеченных" функций Грина [1, 3]. При этом решения данных ИЕ допускают асимптотические представления при $\tau_0 \rightarrow +\infty$ и $\tau_0 \rightarrow +0$, причем для $\forall \Lambda \in (0,1]$ и произвольных индикатрис рассеяния. Главные члены асимптотик (при $\tau_0 \rightarrow +\infty$) наиболее простого вида, которые возможно получить на основе данных ИЕ, будут представлять, например, нулевую азимутальную гармонику коэффициента пропускания σ с

точностью до остаточных членов $O(\tau_o^{-1} \exp(-2k_2\tau_o))$ и $O(\exp(-k_1 + 2k_2)\tau_o)$ соответственно для случаев консервативного и неконсервативного рассеяний (k_1 – наименьший положительный корень СЕ; k_2 – второй положительный корень СЕ, если он существует; если существует только один дискретный корень СЕ, то следует положить $k_2 = 1$). Показано, что с помощью указанных ИЕ и итерационной процедуры можно получить асимптотики для ρ и σ , в которых учитывалась бы вся информация о дискретном спектре и части непрерывного спектра СЕ. Все величины и функции, входящие в полученные данным методом асимптотики, могут быть эффективным образом найдены посредством устойчивых численных алгоритмов, причем для произвольных квадратично суммируемых индикатрис рассеяния. Отметим, что предложенный метод получения многочленных асимптотик является физически прозрачным и математически обоснованным. Асимптотики, найденные посредством данного метода, возможно использовать для решения обратных задач РТТ.

1. Роговцов Н.Н. Восстановление внутреннего распределения поля излучения по его характеристикам на границах рассеивающей среды. *Изв. АН СССР. ФАО*, 1980, **16**, 3, 244–253.
2. Роговцов Н.Н. Теория переноса и общий принцип инвариантности. *Докл. АН БССР*, 1981, **25**, 5, 420–423.
3. Роговцов Н.Н. *Свойства и принципы инвариантности. Приложение к решению задач математической физики*. Ч.1. Минск, 1999, 384с.
4. Роговцов Н.Н., Боровик Ф.Н. К решению в замкнутой форме уравнения переноса излучения для бесконечной однородной плоскопараллельной среды. *Докл. АН Беларуси*, 1993, **37**, 6, 39–44.
5. Роговцов Н.Н. О решении характеристического уравнения теории переноса излучения в замкнутой форме. *Труды международной конференции "Краевые задачи, специальные функции и дробное исчисление"*. Минск, 16-20 февраля 1996, 305–312.

Метод последовательных порядков рассеяния в задачах с сильно вытянутой индикатрисой

Киселев В.Б. (kisselev@spiras.nw.ru)

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

Расчет переноса излучения в средах, характеризующихся сильно вытянутой индикатрисой рассеяния, представляет определенные трудности. В численных методах для разрешения острого пика в направлении исходного излучения в угловой зависимости интенсивности приходится пользоваться сетками с большим количеством узлов, что приводит к существенному возрастанию потребности в вычислительных ресурсах и, соответственно, времени решения задачи. Возможным приемом, сокращающим потребность в вычислениях, является представление решения в виде комбинации двух частей, для одной из которых существует аналитическое выражение, а для получения другой затраты ресурсов значительно сокращаются. Использование при решении уравнения переноса излучения приближения однократного рассеяния в качестве аналитической части не приводит к желаемому результату, поскольку острый пик сохраняется и в угловой зависимости многократно рассеянного излучения.

Для задачи распространения излучения в плоскопараллельной атмосфере с горизонтально однородным источником оказывается возможным при определенных допущениях получить аналитическое решение уравнения переноса, учитывающее процесс многократного рассеяния и для сильно вытянутых индикатрис весьма мало отличающееся от точного решения в достаточно широкой области вблизи пика интенсивности. Метод построения такого решения основан на приближенном суммировании рядов по порядкам рассеяния излучения. Это решение используется следующим образом. Исходная сильно вытянутая индикатриса представляется в виде суммы двух индикатрис, одна из которых имеет острый пик в рассеянии вперед и пренебрежимо малые значения при больших углах, а вторая – значительно менее вытянута, чем исходная. Для первой из них используется полученное аналитическое решение, а уравнение переноса со второй индикатрисой решается

численно. Данный прием позволяет, например, для облачной индикатрисы сократить затраты компьютерного времени в десятки раз при сохранении точности решения в пределах 1–2 десятых долей процента.

Полученные результаты позволяют предположить, что метод суммирования последовательных порядков рассеяния в приближении сильно вытянутой индикатрисы дает возможность получить достаточно точные решения и в случае горизонтально неоднородных полей излучения. Аналитические выражения для различных порядков рассеяния инфинитезимально тонкого луча в горизонтально однородной среде выводятся на основе тех же предположений, что и для горизонтально однородного источника. На основе полученных выражений возможно построение функций рассеяния точки как для ортотропно отражающей поверхности, так и для поверхностей с произвольным коэффициентом отражения, а также исследовать роль многократного рассеяния в формировании горизонтальной структуры поля отраженного излучения при дистанционном зондировании неоднородных объектов.

Коротковолновые асимптотические приближения метода плавных возмущений

Илюшин Я.А. (rx3ahl@mail.ru), Куницын В.Е. (kunitsyn@phys.msu.ru)

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, каф. физики атмосферы, физ. фак., Воробьевы горы, 119992 Москва, Россия

На основе системы уравнений метода плавных возмущений (МПВ) [1] получены коротковолновые асимптотические представления волнового поля в неоднородной среде с большими плавными возмущениями коэффициента преломления. Для наиболее важных частных случаев плоской и сферической падающей волны получены решения в форме быстро осциллирующих интегралов.

Построены коротковолновые асимптотические приближения найденных решений [2]. Исследовано поведение высших асимптотических разложений волнового поля. Посредством сравнения с эталонным точным решением задачи рассеяния для сферически симметричных рассеивателей систематически исследованы области применимости полученных асимптотик.

Погрешность аппроксимации точного решения приближениями различных порядков детально проанализирована для широкого класса модельных объектов в широких областях изменения характерных параметров и масштабов рассеивателей. Определена степень целесообразности применения различных приближенных решений при решении типичных задач рассеяния коротких волн в природных средах с большим по сравнению с длиной волны характерным масштабом неоднородностей.

Настоящая работа была частично поддержана грантами РФФИ 05-05-65145 и 06-05-64988.

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

Решение интегрального уравнения Амбарцумяна в задаче о диффузном отражении излучения мутными средами

Лубенченко А.В. (lem_a@mail.ru)

Московский энергетический институт, Красноказарменная 14, 111250 Москва, Россия

В теории переноса оптического излучения разработаны методы решения граничных задач, которые на основе рассмотрения однократного процесса рассеяния и принципов инвариантности, минуя уравнение переноса излучения, позволили получить нелинейные интегро-дифференциальные уравнения (уравнения Амбарцумяна-Чандрасекара). Эти уравнения описывают коэффициенты яркости отраженного от слоя излучения и коэффициенты яркости прошедшего излучения. Традиционно решение этих уравнений

ищется в виде ряда разложения по фундаментальным функциям (функциям Амбарцумяна, Соболева, Чандрасекара). Однако известны решения только для задачи рассеяния однородным слоем с изотропным или релеевским законом рассеяния.

Анизотропный характер однократного рассеяния является источником существенных трудностей как для аналитических методов решения краевых задач уравнения переноса, так и для численных. Учет анизотропии рассеяния породил разработку специальных приближенных методов, получивших общее название: малоугловое приближение. Для описания отраженного излучения традиционно используется приближение квазиоднократного рассеяния, полученное на основе малоуглового приближения. Решение уравнений Амбарцумяна-Чандрасекара без использования малоуглового приближения может быть положено в основу теории отражения излучения от неоднородных сред с неортогортотропной подстилающей поверхностью. С помощью этой теории можно найти границы применимости приближения квазиоднократного рассеяния и исследовать влияние малоуглового рассеяния на формирование отраженного излучения.

В работе предложен новый способ решения задачи диффузного отражения мутным однородным слоем. Решение разбивается на два этапа. Сначала находятся коэффициенты яркости излучения, отраженного от полубесконечной однородной среды. Затем, используя найденное решение, вычисляются коэффициенты яркости излучения, отраженного от слоя. При этом закон однократного рассеяния может быть любым. Метод решения нелинейного уравнения задачи отражения от мутной полубесконечной среды основан на разложении коэффициентов яркости отраженного излучения в виде ряда по кратностям "сильного" рассеяния, которое изменяет направления распространения излучения относительно нормали к поверхности. Такое разложение однозначное и приводит к линейным интегральным уравнениям для каждой кратности "сильного" рассеяния. Показано, что использование метода дискретных ординат (ДО) и метода сферических (СГ) гармоник приводит к линейным матричным уравнениям.

Получено точное решение этих уравнений в виде матричных экспонент. Решение справедливо как для изотропной среды, так и для среды с анизотропным законом рассеяния (сильно вытянутая индикатриса рассеяния). В работе найдены условия, при которых вклад многократных "сильных" рассеяний незначителен, а отражение формируется однократным "сильным" рассеянием. Эти условия определяют верхнюю границу применимости приближения квазиоднократного рассеяния.

Решения нелинейного уравнения задачи отражения от слоя основано на представлении коэффициента яркости излучения в виде суммы коэффициента яркости излучения, отраженного от полубесконечной среды, и добавочной функции. Для этой функции найдено нелинейное интегральное уравнение, решение которого получено на основе метода ДО. Метод расчета коэффициента яркости отраженного излучения от однородного слоя достаточно просто адаптируется для задачи отражения излучения от многослойных слоистых сред с подстилающей поверхностью. На вид подстилающей поверхности не накладываются никакие ограничения.

Все полученные решения опираются на матричное исчисление, поэтому они легко реализуются в стандартных математических пакетах. В среде MATLAB 7.1 создана программа Reflectance v1.1, которая рассчитывает коэффициенты яркости излучения, отраженного от среды с анизотропным законом рассеяния за время порядка нескольких долей секунды. Сравнение с результатами расчетов других авторов и с результатами статистического моделирования показало высокую эффективность и точность разработанных методов вычисления коэффициентов яркости отраженного излучения.

Применение метода ODF для расчета переноса излучения в молекулярных полосах в атмосферах планет

Кутепов А.А. (akutepov@pop600.gsfc.nasa.gov)
CUA/NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD 20771, USA
Institute for Astronomy and Astrophysics, Scheinerstr. 1, 81677, Munich, Germany

Феофилов А.Г.
ORAU/NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD 20771, USA

Гусев О.А.
Physics Department, University of Wuppertal, Wuppertal, Germany

Рост числа космических и наземных наблюдений планетных атмосфер, а также развитие моделей общей циркуляции атмосферы (GCM) требуют разработки эффективных и точных методов расчета переноса излучения в колебательно-вращательных полосах молекул атмосферных газов. Расширение диапазона наблюдений и моделирования на высоты, где частота молекулярных соударений недостаточна для термализации колебательных уровней молекул, требует развития методов, работающих для условий нарушения локального термодинамического равновесия (не-ЛТР) и применимых для оперативной обработки измерений и расчета радиационных скоростей охлаждения и нагревания в GCM. Существующие точные численные методы, рассматривающие перенос излучения в отдельных линиях (line-by-line), требуют большого времени расчетов и не могут быть применены для указанных выше задач, в то время как различные параметризации не обеспечивают требуемой точности.

Мы описываем применение метода функции распределения непрозрачности (Opacity Distribution Function, ODF), используемого в астрофизике [1] при решении задач не-ЛТР переноса излучения в атомных линиях и мультиплетах в атмосферах холодных звезд, к расчету переноса теплового излучения в молекулярных полосах в атмосферах планет. В отличие от метода К-корреляции [2], применяемого для расчета переноса излучения в полосах при ЛТР, метод ODF может быть использован и в случае нарушения ЛТР. Метод позволяет рассматривать колебательно-вращательную полосу молекулы как одну линию, зависимость формы которой от температуры и давления может быть представлена в виде простой параметризации.

Метод ODF был применен нами к решению не-ЛТР задач в земной (для молекул CO₂, H₂O, O₃) и марсианской (для CO₂) атмосферах и продемонстрировал хорошие результаты при вычислении как населенностей колебательных уровней, так и скоростей радиационного нагревания/выхолаживания. Применение метода дает коэффициент ускорения в расчетах теплового излучения, сопоставимый с числом линий в колебательно-вращательной полосе (порядка 100 для полос углекислого газа, порядка 1000 для полос озона и воды).

1. Goody, R. M., and Y. L. Yung. *Atmospheric Radiation, Theoretical Basis*. 2d ed., Oxford University Press, 1989.
2. Михалас, Д. *Звездные атмосферы*. Мир, 1982.

Перенос микроволнового излучения в земной атмосфере при нарушении спин-изомерного равновесия атмосферного водяного пара

Троицкий А.В. (troitsky@nirfi.sci-nnov.ru), Китай Ш.Д., Ошарина Н.Н.
Научно-исследовательский радиофизический институт, Б. Печерская 25, 603950, Н. Новгород, Россия

Совокупность вращательных уровней молекулы водяного пара H₂O состоит из двух подсистем, характеризующихся суммарным ядерным спином J молекулы водорода H₂. Ядерный спин $J = 1$ соответствует орто-состоянию, а $J = 0$ – пара-состоянию. Каждому состоянию соответствует свой колебательно-вращательный спектр. Отношение статистических весов орто/пара состояний равно 3 : 1, или в процентах 75/25. На этом положении основываются

все теории излучения, поглощения и переноса электромагнитного излучения (от микроволнового до оптического) в земной атмосфере.

В работе [1] обнаружен эффект спин-селективной адсорбции водяного пара, при котором имеет место существенное нарушение орто/пара равновесия водяного пара при адсорбции на поверхности адсорбента и последующего испарения с неё (9 : 1 и 2 : 1, соответственно, вместо 3 : 1 при равновесии). Водяной пар в атмосфере находится в нестационарных условиях вследствие процессов адсорбции (конденсации) и испарения в облаках, на аэрозолях и на земной поверхности. Можно ожидать, что в процессе таких трансформаций, аналогичных по природе со спин-селективной адсорбцией, орто/пара равновесие водяного пара в атмосфере будет нарушено.

В работе выполнены теоретические исследования теплового излучения земной атмосферы в диапазоне волн до 100 см^{-1} (3 ТГц) при нарушении орто/пара равновесия водяного пара. Показано, что нарушение этого равновесия влечёт за собой перераспределение интенсивностей всех линий молекулярного спектра атмосферного водяного пара. Это приводит к значительному изменению интенсивности теплового излучения и поглощения атмосферы во всём диапазоне волн от микроволн до оптики и, как показано в [2], может повлиять на радиационный баланс Земли. Эти эффекты максимальны в районе спектральных линий поглощения водяного пара и имеют разные знаки в зависимости от орто- или пара- принадлежности рассматриваемых линий. Отклонение от равновесия всего на 5%, то есть 80/20 вместо равновесного 75/25, приводит к изменению поглощения $\Delta\tau$ в микроволновых линиях водяного пара 22.2 (орто-линия); 183 (пара-линия); 325 ГГц (пара-линия) в зенитном направлении на + 0.08; – 6.9; – 7.5, соответственно. В микроволновых же окнах прозрачности ~ 100 ; ~ 150 ; ~ 270 ГГц – на – 0.002; – 0.021; + 0.02, что соответствует единицам градусов в тепловом излучении и обнаружимо современными спектрально-радиометрическими методами. Зависимость $\Delta\tau$ от процентного изменения орто/пара отношения практически линейная. Сообщаются результаты микроволновых измерений теплового излучения ясной атмосферы на частотах 22.2 ГГц (орто-линия) и ~ 100 ГГц (склон пара-линии 183 ГГц) и угле 60° . Обнаружены значимые отклонения отношения яркостных температур на этих частотах от наиболее вероятного значения ~ 0.71 , которое, по-видимому, определяется равновесным орто/пара отношением водяного пара. Обнаруженные вариации отношения яркостных температур в области орто- и пара-линий H_2O можно интерпретировать нарушением орто/пара равновесия водяного пара в атмосфере.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 06-02-16681).

1. Tihonov V.I., Volkov A.A. Separation of water into its orto and para isomer. *Science*, 2002, **296**, 2363.
2. Вигасин А.А., Локштанов С.Е., Фомин Б.А. Оценка возможного влияния нарушения спин-изомерного равновесия водяного пара на радиационный баланс в атмосфере. *Изв. РАН. ФАО*, 2003, **39**, 6, 857.

Сеточные методы решения уравнения переноса в 3D областях при точном учете индикатрис рассеяния. Программа РАДУГА-5.2(П)

Басс Л.П. (bass@kiam.ru), Николаева О.В.

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

Кузнецов В.С.

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

При численном решении уравнения переноса излучения для задач атмосферной оптики приходится иметь дело с сильно вытянутыми индикатрисами рассеяния, часто немонотонными в области больших углов. В настоящее время обычно применяются различные аппроксимации этих индикатрис, что эквивалентно использованию некоторой упрощенной модели рассеяния. В числе этих моделей следует назвать:

- мало-угловое приближение;
- представление индикатрисы разложением по полиномам Лежандра;

- представление пика индикатрисы дельта-функцией, а остальной ее части – полиномами Лежандра.

Использование таких аппроксимаций может привести к искажению решения. Особенно сильные искажения возможны в оптически тонких областях.

В настоящее время высокий уровень развития вычислительной техники позволяет при решении 3D задач о переносе излучения в средах со сложными индикатрисами учитывать эти индикатрисы точно. Для этого были разработаны алгоритмы, позволяющие с хорошей точностью вычислять матрицы рассеяния от таких индикатрис с сохранением нормы оператора столкновений (при условии, что угол рассеяния зависит как от полярной, так и от азимутальной составляющих).

Эти алгоритмы включены в новую версию программы РАДУГА-5.2(П), предназначенную для решения стационарного уравнения переноса методом дискретных ординат на однопроцессорных и многопроцессорных компьютерах в многомерных геометриях.

Выполненные по этой программе расчеты задач с 3D геометрией и сильной анизотропией рассеяния показали, что точный учет индикатрисы позволяет получать различные локальные характеристики решения корректно и с высокой точностью. Кроме того, предложенный метод позволяет сократить время счета по сравнению с алгоритмами, в которых индикатрисы аппроксимируются полиномами Лежандра, если число используемых полиномов существенно превосходит число узлов угловой квадратуры.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 04-01-00404.

Глобальная сферическая модель переноса излучения в системе "земля – атмосфера с многослойными облаками – земная поверхность"

Сушкевич Т.А. (tamaras@keldysh.ru), Стрелков С.А., Владимирова Е.В., Волкович А.Н.,
Максакова С.В., Куликов А.К.

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

40 лет назад Т.А. Сушкевич разработала первую в мире модель переноса солнечного излучения в сферической атмосфере Земли в масштабах планеты [1, 2], на основе которой были получены пионерские результаты по дистанционному зондированию аэрозольных и озоновых слоев, а также решены многие прикладные задачи освоения космического пространства и становления космических исследований. В интересах международной кооперации по аэрокосмическому глобальному мониторингу Земли, а также международного глобального проекта по изучению эволюции Земли, климата и опасных явлений требуется разработка нового математического обеспечения для решения прямых и обратных задач теории переноса излучения в природных средах, реализуемого на высокопроизводительных многопроцессорных вычислительных системах [2].

Впервые предлагается оригинальный универсальный математический аппарат для моделирования переноса излучения в многослойных неоднородных гетерогенных природных средах с существенно различными радиационными режимами в отдельных областях системы. Гетерогенной является, например, система "свободная атмосфера – многоярусная облачность – приземный слой атмосферы – земная поверхность (океан, суша)". Подход основан на построении обобщенных решений в форме матричных функционалов, ядрами которых являются векторы функций влияния отдельных слоев системы. При этом функции влияния слоев с различными аэрозольными и молекулярными характеристиками рассеяния и поглощения и радиационными режимами можно рассчитывать разными методами в разных приближениях теории переноса излучения.

Такая постановка задачи приобретает актуальность в связи с проблемами фоторадиационной химии атмосферы (тропосферы, стратосферы 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 и т.п.); реализацией проектов дополнительных источников энергии на КА путем использования солнечного излучения, отраженного Землей и т.д.

Новые возможности предлагаемой модели связаны с верификацией инженерных прикладных методик и приближения плоских слоев, массово используемых для экспресс-анализа космических данных и в радиационных блоках для моделей климата, циркуляции, прогноза, фотохимической кинетики, динамики озоносферы, трансграничного переноса загрязнений воздушного бассейна и т.д.

Работа поддержана Российским Фондом Фундаментальных Исследований (проект 06-01-00666) и Российской академией наук (проект ОМН-3(4)).

1. Сушкевич Т.А. Осесимметричная задача о распространении излучения в сферической атмосфере. Отчет № О-572-66. М.: ИПМ АН СССР, 1966. 180 с.
2. Сушкевич Т.А. Математические модели переноса излучения. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2005. 661с.

СЕКЦИЯ 2. РАДИАЦИОННАЯ КЛИМАТОЛОГИЯ

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

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

Режимно-справочный банк данных (РСБД) "Актинометрия" и его использование для анализа радиационных факторов климата

Луцько Л.В., Махоткина Е.Л. (makhotk@main.mgo.rssi.ru), Бычкова А.П., Лукин А.Б.,
Ерохина А.Е.

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

Солнечная радиация является основным климатообразующим фактором, поэтому исследования временных и пространственных изменений составляющих радиационного баланса должны являться частью мониторинга климата. Однако, отсутствие удобного доступа к данным наблюдений за солнечной радиацией долгое время приводило к тому, что актинометрическая информация не находила должного применения при анализе происходящих климатических изменений.

Функционирующий в ГГО режимно-справочный банк данных "Актинометрия", формирование которого было начато в конце 1980-х годов, состоит из трех базовых архивов ("Срочные наблюдения", "Регистрация", "Интегрирование") и ряда сформированных на их основе вспомогательных архивов. Базовые архивы содержат информацию с 1976 г. и постоянно пополняются данными текущих наблюдений. Источником пополнения РСБД "Актинометрия" является актинометрическая сеть России, которая в настоящее время насчитывает 192 станции, обеспечивающие получение информации об основных составляющих радиационного баланса.

Базовые архивы РСБД "Актинометрия" сформированы автоматизированными системами первичной обработки актинометрической информации, реализованными на ЭВМ различных типов. Эти архивы являются объектами хранения и источниками подготовки производных массивов данных для последующего использования в научных и прикладных исследованиях.

Поскольку за период с 1976 г. в системе ведения банка данных "Актинометрия" трижды происходили изменения, в архивных записях базовых архивов за разные годы встречаются несоответствия, обусловленные различиями в алгоритмах обработки и архивации данных, реализованных на различных ЭВМ, а также технические ошибки. Выполненный в последнее время тщательный анализ алгоритмов подготовки архивных файлов позволил выявить и систематизировать несоответствия, существующие в базовых архивах РСБД "Актинометрия" за период с 1976 г. по настоящее время. Для устранения обнаруженных в базовых архивах ошибок были разработаны алгоритмы корректировки архивов, предусматривающие исправление координатных номеров станций и кодов отдельных видов сопутствующей метеорологической информации, исправление шифровки составляющих радиационного баланса и часовых сумм радиации в ночное время (при отрицательных высотах Солнца), пересчет суточных и месячных сумм радиации по современной методике. Это позволило сформировать исправленные нормализованные архивные файлы, структура которых полностью соответствует структуре исходных. Анализ показал, что в результате проведенного преобразования исправления были внесены в 30% общего количества записей. Дальнейшее преобразование нормализованных архивов "Срочные наблюдения" и "Регистрация" позволило сформировать наборы постанционных архивов климатологического типа, удобных для практического использования.

На основе нормализованных архивов в составе РСБД "Актинометрия" сформированы специализированные архивы, предназначенные для проведения климатических исследований. Разработанный для этого пакет программ позволяет на основе нормализованных верифицированных архивов выполнять конвертацию одного типа файлов

в другой, осуществлять расчеты по заданному алгоритму (например, расчета суточного хода альбедо), представлять результаты в графической форме. Блок программного обеспечения РСБД "Актинометрия" для формирования специализированных архивов включает 5 программных модулей, обеспечивающих формирование выборок и выполнение расчетов по заданным алгоритмам, а также 3 построителя графиков.

Выполненная актуализация архивов РСБД "Актинометрия" существенно расширила возможности для использования актинометрической информации в научных и прикладных исследованиях, существенно сократила затраты времени на поиск интересующей информации. В частности, нормализованные архивы использованы в ГГО для исследований пространственно временного хода основных составляющих радиационного баланса на территории России, прозрачности атмосферы, альбедо.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (№№ 03-05-64441, 06-05-65293).

Радиационный режим в период современной атмосферной засухи в Украине

Рыбченко Л.С. (nigmi2@yandex.ru)

Украинский научно-исследовательский гидрометеорологический институт, пр-т Науки 37, 03028 Киев, Украина

В последние десятилетия XX ст. на территории Украины возникновение засух происходило в особых условиях атмосферной циркуляции, приводящих к уменьшению их повторяемости, но усилению интенсивности [1].

Анализ особенностей радиационного режима производился с привлечением данных измерений сети станций за период 1970–2002 гг. В течение указанного периода можно выделить 11 лет, когда возникали засухи, влияющие на работу и продуктивность отдельных отраслей экономики. Они отличались комплексным характером – атмосферные засухи с течением времени формировали и почвенные [2].

Засушливый период апреля–августа 1972 г. имел традиционные признаки. Отмечалось повышение температуры воздуха на 1–40°C относительно средних значений и неравномерное выпадение осадков. Это сопровождалось возрастанием суммарной радиации на востоке и юго-востоке и почти неизменным ее значением на остальной части территории Украины. В апреле–июне в направлении с северо-запада на юго-восток на 15–20% увеличивались суммы радиационного баланса. В июле–августе они мало отличались от нормы.

Новые черты сильной засухи проявились в отдельные месяцы теплого периода 1986 г., когда температура воздуха была на 1–20°C выше, а осадки ниже нормы. Наибольшие изменения радиационного режима отмечались в мае. Продолжительность солнечного сияния увеличивалась на 40% относительно средних значений, суммарная радиация – на 30%, прямая радиация – на 50%, радиационный баланс – на 40%. Положительная аномалия радиационных характеристик отмечалась на всей территории страны, но больше в ее западной части. Детальный анализ исследуемых величин на уровне суточных сумм позволил выявить особенности их пространственного распределения. Так, на севере (Борисполь) и на юго-западе (Одесса) наблюдалось три засушливых периода по 5–8 дней в каждой декаде. На северо-западе (Ковель) таких периодов было два – в первую и третью декаду. В центре восточной части страны (Полтава) засушливый период отмечался в третьей декаде. В Одессе положительная аномалия прямой радиации составляла 33%, суммарной радиации – 16%, радиационного баланса –18%. Использование суточных сумм позволило проследить временную динамику рассматриваемых характеристик в течение месяца. В первый период засухи прямая радиация увеличилась на 33%, во второй – на 56%, в третий – на 58%. Соответственно суммарная радиация повышалась на 15, 20 и 30%, а радиационный баланс – на 9, 26 и 28%.

Атмосферные процессы, обуславливающие развитие засухи в последние десятилетия, отличались меньшей повторяемостью областей высокого давления. Наблюдалось частое чередование полей высокого и низкого давления. Соответственно засухи могли иметь период существования равный декаде (и меньше), когда резко повышалась температура (на 5–80°C) и отсутствовали осадки. В связи с этим изменение радиационных характеристик не всегда отмечалось на уровне месячных значений, хотя существенно изменялось соотношение между прямой и рассеянной радиацией по сравнению с аналогичным соотношением в средних условиях. Засуха теплого периода 2000 г. проявилась интенсивнее в западной половине страны. В апреле–мае в центре Украины (Светловодск) доля прямой солнечной радиации увеличилась с 48 до 63% и соответственно уменьшилась доля рассеянной с 52 до 37%. Довольно показательными были изменения в отдельные декады. В апреле доля прямой радиации в первую декаду составляла 28%, во вторую – 57%, в третью – 67%. Дальнейшее развитие засухи в мае привело к увеличению в первой декаде доли прямой радиации до 77%, во второй – до 68% и в третьей – до 62% (по отношению к суммарной). В следующие засушливые месяцы (июнь–август) аналогичные изменения доли прямой радиации проходили в пределах 54–74%. Развитие засухи в теплый период 2002 г. позволило получить подобные количественные характеристики относительно увеличения прямой радиации.

Наибольшие положительные аномалии суммарной и прямой радиации не всегда сопровождаются соответствующим ростом сумм радиационного баланса. Анализ осенней засухи в октябре 1988 г. показал, что существенная положительная аномалия суммарной радиации (Ковель, до 45%) сопровождалась, в основном, отрицательной аномалией сумм радиационного баланса. Причиной этого было значительное возрастание эффективного излучения в малооблачную погоду, которое не компенсировалось дневным поступлением коротковолновой радиации при малых высотах Солнца. Дополнительным фактором сдерживания роста радиационного баланса стало увеличение, примерно, на 4% альбедо подстилающей поверхности. Следует отметить роль альбедо в уменьшении поглощенной радиации и радиационного баланса в различные засушливые периоды (даже короткие), что способствует ослаблению засушливых эффектов.

1. Мартазинова В.Ф., Сологуб Т.А. Атмосферная циркуляция, формирующая засушливые условия на территории Украины в конце XX столетия. *Наукові праці УкрНДГМІ*, 2000, вип. 248, 36–47.
2. Дмитренко В.П., Строкач Н.К. Посушливі явища (бездошовий період, суховій, посуха). *Клімат України*. За ред. В.М.Ліпінського, В.А.Дячука, В.М.Бабіченко – К.: Видавництво Раєвського, 2003, 233–245.

Изменение суммарной солнечной радиации в районе Томска

Скляднева Т.К. (tatyana@iao.ru), Белан Б.Д.

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

Для оценки долговременных изменений природной среды и климата необходимо проведение длительного мониторинга газового и аэрозольного состава воздуха, метеопараметров, а также радиационных характеристик атмосферы в различных регионах планеты.

В работе анализируется поступление суммарной солнечной радиации (Q) и ее изменчивость в районе Томска в 1995–2005 гг. В качестве исходного материала используются данные круглосуточного измерения Q пиранометром М-115М (диапазон измерения 0.4–2.3 мкм) на базе автоматического поста (TOR-станции), созданного в ИОА СО РАН в 1992 году в рамках международного проекта TOR (Tropospheric Ozone Research) [1].

Полученные результаты можно кратко сформулировать следующим образом. Среднегодовой приход солнечной радиации за 11-летний период составил 4280.43 МДж/м². Годовая сумма Q практически не менялась от года к году (за исключением 2003 г.); коэффициент вариации годовых сумм суммарной радиации составил 5.8%. Величина и

диапазон колебаний месячных сумм радиации зависит от сезона. В весенне-летний период коэффициент вариации месячных сумм (V) менялся в пределах 10–13%, а в осенний период составил 15–16%. В зимний период V увеличился до 20% в результате неустойчивости циркуляционных процессов. Основной вклад (67%) в годовую сумму суммарной радиации вносил теплый период (май–сентябрь), а максимум месячных сумм суммарной радиации наблюдался в июле. В тоже время надо отметить, что этот максимум незначительно превышает по величине средние суммы Q в мае–июне.

Сопоставление суточных сумм $Q_{\text{сут}}$ зарегистрированных на TOR-станции с максимально возможными суммами для 56° с.ш. [2], показало, что фактически за сутки на земную поверхность в Томске в зависимости от сезона поступает суммарной радиации от 35 до 65% от возможной. Наблюдается зависимость прихода суммарной радиации от типа барического образования и типа воздушной массы. В течение года влияние воздушной массы на приход суммарной радиации различно. Так если с октября по май величины суточных сумм радиации в арктической (КАВ) и умеренной (КУВ) воздушных массах близки между собой, то в летний периоды $Q_{\text{сут}}$ больше при КУВ. В период с мая по июль суточные суммы суммарной радиации при субтропической (КСВ) воздушной массе больше чем при КАВ и КУВ, а в холодный период времени количество суммарной солнечной радиации при субтропической воздушной массе меньше, чем в случае с другими типами воздушной массы. Величина суточных сумм суммарной радиации при антициклоне в среднем выше в 1.6 раза, чем при циклоне в течение всего года. Максимальный суточный приход суммарной радиации наблюдается в северо-восточной части циклона, а в антициклоне – в южной и юго-западной.

В целом, в рассматриваемый период в районе Томска наблюдался достаточно устойчивый радиационный режим. Поскольку рассмотренный временной ряд 1995–2005 гг. мал по сравнению с масштабами климатических изменений, то полученные результаты соответствуют только данному периоду наблюдений.

1. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К. и др. Автоматический пост для мониторинга малых газовых составляющих атмосферного воздуха. *Метеорол. и гидрол.*, 1999, 3, 110–118.
2. Морозова И.В., Мясников Г.Н. Изменения возможной суммарной солнечной радиации на земной поверхности. *Метеорол. и гидрол.*, 1997, 10, 38–48.

Методы расчета фотосинтетически активной радиации и ее распределение по территории России

Шиловцева О.А. (shil_o@mail.ru), Балдина Е.А.

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

При исследовании функционирования растительных сообществ одной из актуальных проблем является определение поступающей к ландшафтам солнечной радиации и, в частности, фотосинтетически активной радиации или ФАР (380–710 нм). Поскольку регулярных наблюдений за ФАР не проводится, то для ее оценки обычно используют различные косвенные методы расчета.

Один из самых распространенных методов – расчет фотосинтетически активной радиации по данным наблюдений за интегральной солнечной радиацией с помощью переходных коэффициентов, отражающих вклад ФАР в прямую (sf), рассеянную (df) или суммарную (qf) радиацию. Чаще всего применяются коэффициенты $sf = 0.43$ и $df = 0.57$, полученные в начале 60-х годов эстонскими учеными на основании теоретических расчетов энергии в спектре солнечной радиации. Оценка влияния различных метеорологических факторов на величины sf , df и qf , проведенная в метеорологической обсерватории МГУ, позволила убедиться в том, что при расчете суммарной ФАР целесообразнее пользоваться одним коэффициентом qf , а не двумя.

На базе непрерывных наблюдений за суммарной ФАР, которые были проведены в метеорологической обсерватории МГУ с 1980 по 2001 гг., были разработаны методы оценки средней за сутки суммы суммарной ФАР во все сезоны года и в целом за вегетационный период по данным наблюдений за суммарной интегральной радиацией при ясном небе и при средних условиях облачности, а также и по данным наблюдений за продолжительностью солнечного сияния. Преимущество последнего метода перед методом расчета по актинометрическим данным заключается в том, что станций, измеряющих продолжительность солнечного сияния, примерно в два раза больше, чем актинометрических. Это позволяет получить более детальную картину распределения ФАР по территории.

По данным наблюдений на 15 станциях в различных районах (от Архангельска до Полтавы и от Санкт-Петербурга до Нижнего Новгорода) и для теплого времени года были рассчитаны средние месячные суммы ФАР по актинометрическим данным и по данным о продолжительности солнечного сияния.. Всего было сопоставлено 87 сумм радиации, в среднем расхождение не превысило 1%. Коэффициент корреляции между суммами тоже оказался велик – 0.99, что позволяет сделать вывод о возможности использования расчетных сумм ФАР, полученных разными методами, при создании карт ФАР.

Для построения карт была использована программа Surfer 7.04 for Windows производства Golden Software Inc. Помимо распределения ФАР по территории были получены также карты распределения средней за месяц и вегетационный период в целом общей и нижней облачности, продолжительности вегетационного периода. Из-за ослабляющего влияния облачности приход ФАР в северных районах меньше по сравнению с безоблачными условиями в среднем на 40–50%, а в южных – на 20–30%. Направление изолиний ФАР достаточно хорошо согласуется с направлением изолиний средней общей и нижней облачности и продолжительности вегетационного периода.

Сопоставление полученного распределения ФАР на ЕТР с картой, построенной эстонскими учеными 40 лет назад, затруднено, поскольку последняя была сделана еще в старых метрических единицах. Однако общий ход изолиний в целом согласуется.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 05-05-64696).

Пространственно-временная особенность изменения фотосинтетически активной радиации на территории Республики Молдова в связи с глобальным изменением климата

Мангул И.Д. (mangul@hidromet.meteo.md), Сыпченко Л.Ю.

Гос. Гидрометслужба Республики Молдова, Гренобля 193, Кишинев 2043, Республика Молдова

Неделкова М.И.

Институт Географии АН РМ, ул. Г. Асаки 67а, Кишинев 2028, Республика Молдова

Мангул С.И.

Государственный университет, Кишинев, Республика Молдова

Изучение фотосинтетически активной радиации в странах аграрного направления представляет огромный интерес, так как все важнейшие физиологические процессы у сельскохозяйственных культур определяются в основном фотосинтезом [2, 3]. Часть спектра солнечного света, непосредственно участвующего в фотосинтезе, называют фотосинтетически активной радиацией (ФАР).

Величина поглощения растениями ФАР и, следовательно, уровень урожая зависят от многих причин, среди которых большое значение имеет структура посевов. В неудовлетворительных по структурным особенностям посевах растения поглощают около 20–25% падающей на них ФАР, а используют на фотосинтез лишь 1–2% этой величины. В настоящее время посевы характеризуются низкими показателями использования ФАР на фотосинтез, что обуславливает относительно невысокие урожаи сельскохозяйственных

культур. Установлено, что величину ФАР, используемую на фотосинтез, можно увеличить до 7–8% [3]. Это должно привести к резкому повышению продуктивности сельскохозяйственных культур.

В связи с глобальным изменением климата произошли существенные изменения в региональной климатической системе [5]. Эти изменения повторяют тенденции изменения основных метеорологических показателей, включая составляющие радиационного баланса [4]. Расчлененный рельеф, который присущ территории Молдовы, значительно перераспределяет значения метеорологических показателей. При этом создаются неодинаковые микроклиматические условия для произрастания и продуктивности сельскохозяйственных культур.

Цель нашей работы состояла в выявлении тенденции изменения ФАР в связи с изменением глобального климата, а также в оценке ее микроклиматической изменчивости.

Величину приходящей фотосинтетически активной радиации рассчитывали по данным актинометрических наблюдений метеостанции Кишинев, Государственной Гидрометеорологической Службы Молдовы за период 1980–2005 гг., по месяцам, за период вегетации растений и за год.

Для анализа временной структуры ФАР, кроме расчета месячных сумм, были построены тренды и сглаженные ряды, указывающие на тенденцию изменения этого параметра в пределах Молдовы. Согласно нашим расчетам, на исследуемой территории, наиболее высокие значения ФАР (в мДж/м^2) приходятся на июль месяц. Среднемноголетнее его значение составляет 322 мДж/м^2 . При этом абсолютный максимум (374 мДж/м^2) был отмечен в 1995 году. Наименьшие месячные значения наблюдались в апреле и сентябре. Количество ФАР в эти месяцы в среднем составляло 200 мДж/м^2 при абсолютном его значении 170 мДж/м^2 , который наблюдался в апреле 1993 года. Линия тренда свидетельствует о росте ФАР. Согласно полученным уравнениям тренда, ежегодный прирост фотосинтетически активной радиации равняется $3,5 \text{ мДж}$, а в сумме за рассматриваемый период значение его составило 85 мДж или 5% от начального значения.

Исследование изменений ФАР в рельефе происходило в несколько этапов. На первом этапе фактические значения ФАР и традиционные коэффициенты перерасчета [1] позволили рассчитать ФАР склонов различной крутизны и экспозиции для условий Молдовы. Второй этап включал в себя расчет уравнений регрессии значений ФАР от географической широты, экспозиции и уклона местности. Полученные уравнения регрессии и цифровая карта уклонов и экспозиции местности позволили впервые для территории республики получить значения ФАР в узлах регулярной сетки. Таким образом, предел варьирования фотосинтетически активной радиации за год в условиях пересеченного рельефа Молдовы составляет $1920\text{--}2490 \text{ мДж}$.

В заключение отметим, что учет особенностей пространственно-временного распределения ФАР в контексте глобального изменения климата позволит рационально использовать земельные ресурсы и значительно повысить продуктивность возделываемых сельскохозяйственных культур в регионе.

1. Голубова Т.А., Мищенко З.А., Пигольцина Г.Б. Микроклиматическая изменчивость суммарной и фотосинтетически активной радиации на склонах. *Труды ГГО*, 1977, вып. 385, 3–12.
2. Гуляев Б.И. Об изменении ФАР. *Физиология растений*, 1965, **10**, 5, 513–524.
3. Ничипорович А.А. Фотосинтез и вопросы повышения урожайности растений. *Вестник сельскохозяйственной науки*, 1966, 2.
4. Мангул И.Д., Казак В.Я., Сыпченко Л.Ю., Мангул С.И. Особенности изменения составляющих радиационного баланса на территории Республики Молдова. *Тезисы Международного симпозиума стран СНГ "Атмосферная радиация"*, Санкт-Петербург, 2004, 55–56.
5. Constantinov T., M. Nedelcov, M. Daradur, V. Răileanu, A. Nicolenco. Estimation climatic potential of territory of the Republic of Moldova, tendencies of its change and influence on agricultural production. *Proc. Int. Conf. Clim. Dyn. and Global change Perspect*, 2001, 23–28.

Моделирование витамин-D-синтезирующей активности солнечной УФ радиации: проблема спектра действия

Теренецкая И.П. (teren@iop.kiev.ua)

Институт физики НАН Украины, пр. Науки 46, 03028 Киев, Украина

Уменьшение толщины озонового слоя обусловило большой интерес к ультрафиолетовой (УФ) климатологии, при этом, однако, основное внимание уделялось оценке биологически активной УФ радиации исключительно с точки зрения ее эритемной активности и вычислению потенциально опасных УФ доз. В последние годы на смену такому одностороннему подходу приходит понимание необходимости учета и позитивного биологического действия УФ радиации, в основном связанного с инициированием синтеза витамина D, являющегося жизненно важным процессом для здоровья человека. В модельных расчетах специфической витамин-D-синтезирующей активности солнечной УФ радиации важное значение имеет правильное использование спектра действия синтеза витамина D, учитывая значительную разницу между измеренными спектрами действия *in vivo* [1] и *in vitro* [2].

В настоящем докладе дано объяснение этому различию, математически показана взаимосвязь между этими спектрами и приведены примеры того, к каким ошибкам в моделировании витамин D активной УФ радиации может привести некорректное использование спектра действия синтеза витамина D в коже [1].

1. MacLaughlin J.A., Anderson R.R., Holick M.F. Spectral character of sunlight modulates photosynthesis of previtamin D₃ and its isomers in human skin. *Science*, 1982, **216**, 1001–1003.
2. Bolsee D., Webb A.R., Gillotay D., Dorschel B., Knuschke P., Krins A. and Terenetskaya I. Laboratory facilities and recommendations for the characterization of biological UV dosimeters. *Applied Optics*, 2000, **39**, 2813–2822.

О газовом и аэрозольном поглощении в УФ диапазоне спектра

Чубарова Н.Е. (chubarova@imp.kiae.ru)

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

УФ радиация (УФР) оказывает существенное действие на биосферу, вследствие чего важно количественно оценивать влияние атмосферных факторов на УФР у земной поверхности. В условиях ясного неба главную роль в регулировании поступления УФ радиации играют газовый состав и аэрозольные свойства атмосферы. Среди газового поглощения обычно рассматривается только воздействие стратосферного озона на УФР. Однако в последние годы появились данные о довольно высоких концентрациях некоторых тропосферных газов, имеющих полосы поглощения в УФ диапазоне спектра. Эти газы присутствуют, главным образом, вблизи источников антропогенного загрязнения или образуются во время природных катаклизмов: лесных пожаров, вулканических извержений и др. Например, согласно последним данным наземных и спутниковых измерений содержание NO₂, O₃ и SO₂ в нижних слоях тропосферы вблизи промышленных зон может быть в диапазоне 1–2 матм·см и выше.

Такое содержание тропосферных газов уже может заметно ослабить УФР, особенно принимая во внимание, что в промышленных районах рост концентраций этих газов в некоторых случаях может происходить одновременно. В качестве характеристики потенциального эффекта того или иного газа на УФР нами предлагается использовать параметр AS (%/матм·см), характеризующий чувствительность УФ радиации к изменению содержания того или иного поглощающего газа на 1 матм·см в тропосфере [1]. На основании модельных расчетов проведено сравнение чувствительности УФР в различных спектральных диапазонах к концентрации разных газов. Получено, что величина AS неодинакова для разных газов и диапазонов УФ спектра, меняясь от нуля до приблизительно – 3 %/матм·см.

Отметим, что все обычно рассматриваемые широкополосные УФ интервалы, включая эритемную УФ радиацию, наименее чувствительны к увеличению содержания тропосферного озона и имеют высокую чувствительность к NO_2 особенно в зимний период года. На основании непосредственных экспериментальных наблюдений было показано, что в типичных условиях в Москве ослабление эритемной УФ радиации в среднем составляет примерно 2–3%. Во время лесных пожаров 2002 г. дополнительное уменьшение УФ радиации за счет газового поглощения могло достигать 13%. Влияние SO_2 на ослабление УФС вследствие ее низкого содержания в атмосфере Москвы обычно не превышает одного процента. Потери УФ радиации за счет поглощения органическими газами (в частности, формальдегидом) не превышают 0.5% даже в условиях их экстремально больших концентраций.

По данным измерений фотометром CIMEL в МО МГУ оценивается ослабление УФ радиации различными типами аэрозоля, включая дымовой аэрозоль. На основании сравнений модельных расчетов и измерений эритемной УФ радиации оценивается качество восстановленных по теории Ми значений фактора асимметрии и альbedo однократного рассеяния в УФ области спектра из данных AERONET.

Проводится сравнение эффектов аэрозольного и газового ослабления ультрафиолетовой радиации у поверхности Земли.

1. Чубарова Н.Е. О роли тропосферных газов в поглощении УФ радиации. Доклады АН РАН, 2006, **407**, 2, стр.294–297.

Влияние облачности на УФ радиацию в Москве по данным наблюдений и модельным реконструкциям за период 1968–2003 гг.

Незваль Е.И., Чубарова Н.Е. (chubarova@imp.kiae.ru)

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

Естественная ультрафиолетовая радиация является важным фактором природной среды, оказывающим влияние на биосферу. Наибольший вклад в изменчивость прихода солнечной радиации вносит облачность. В Метеорологической обсерватории МГУ наблюдения естественной ультрафиолетовой радиации в области $\lambda \leq 380$ нм непрерывно ведутся, начиная с 1968 г. Измерения проводятся однотипными приборами, изготовленными в Метеорологической обсерватории МГУ. В июле 2005 г. показания ультрафиолетметра МГУ были сопоставлены с результатами, полученными по спектрометриру Bentham DTV-300 Отделения Биомедицинской физики Медицинского университета в Инсбруке (Австрия), который используется как первичный калибровочный источник в различных национальных и международных сравнениях в Европе (Хельсинки 1995 г., Фессалоники 1999 г. и др.).

В работе использованы данные измерений УФ радиации за период с 1968 по 2003 гг., полученные при фактических условиях облачности и при отсутствии облаков. При анализе также была применена модель реконструкции УФ радиации, описание которой приведено в [1]. С ее помощью была оценена сезонная и межгодовая изменчивость УФ радиации $\lambda \leq 380$ нм за счет облачности и других атмосферных параметров.

Для центральных месяцев сезонов года получен суточный ход потерь УФ радиации. Так, для июля наибольшие потери суммарной УФ радиации отмечены в послеполуденные часы и вызваны развитием конвективной облачности. Для октября наибольшие потери отмечаются в утренние часы. В январе и апреле различия в течение дня выражены менее отчетливо.

Рассмотрена вероятность значений УФ радиации, превышающих максимальные величины в околополуденные часы при безоблачном небе. Такие значения отмечаются при

кучевой облачности, а также при сочетании кучевой облачности с перистыми и высококучевыми облаками.

Используя модель реконструкции, был получен годовой ход потерь УФ радиации (P) за счет облачности с учетом альбедо поверхности. Эти результаты были сопоставлены с данными оценок, полученных из непосредственных измерений за период 1968–2003 гг. В целом отмечается удовлетворительное согласие. Получено, что в теплый период величина P составляет около 25%. Максимальные потери УФР отмечаются в октябре–ноябре и превышают 40% за счет большой повторяемости плотных облаков нижнего яруса. В зимний период потери несколько меньше (меньше 35%) за счет дополнительного вклада многократного переотражения между поверхностью с высоким альбедо и облачным слоем, а также несколько меньшей повторяемости плотных облаков.

Сопоставлены многолетние изменения прихода УФ радиации за 1968–2003 гг. при фактических условиях облачности и при безоблачном небе с данными модельной реконструкции УФ радиации. Для теплого периода (май–сентябрь) за 1968–2003 гг. значимых линейных трендов суммарной УФ радиации не наблюдается. Однако при фактических условиях облачности имеет место отчетливая тенденция к уменьшению годовых сумм и сумм за теплый период от первых лет наблюдений до начала 80-х годов, а затем рост УФ радиации, за исключением последних лет.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке МНТЦ, грант №3254 и РФФИ, грант № 05-05-64696.

1. Chubarova, N.Y., Y.I. Nezval, J. Verdebout, N. Krotkov, and J. Herman, Long-term UV irradiance changes over Moscow and comparisons with UV estimates from TOMS and METEOSAT. In Ultraviolet Ground- and Space-based Measurements, Models, and Effects V, edited by G. Bernhard, J.R. Slusser, J.R. Herman, and W. Gao, SPIE, 2005, 63–73.

Радиационные аспекты причинно-следственной связи озона и КДЦ в тропиках

Крамарова Н.А. (Kramarova@yandex.ru), Кузнецов Г.И.

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

Анализ полей общего содержания озона и УФ облученности в тропической области показал тесную связь вариаций озона и УФ с элементами глобальной циркуляции атмосферы, такими как квазидвухлетний цикл (КДЦ), 11-летний солнечный цикл, явления Эль-Ниньо (Ла-Ниньо).

Для анализа использовались поля среднемесячных значений ОСО и УФ в широтной области 30° ю.ш. – 30° с.ш., с предварительно удаленным сезонным ходом, по данным спутниковых наблюдений TOMS (version 8) и SBUV (version 8). Для выделения долгопериодных особенностей вариаций ОСО и УФ облученности применялся ЭОФ анализ (Эмпирические Ортогональные Функции). Первые четыре ЭОФ описывают более 75% изменчивости аномалий ОСО в тропиках, и тесно связаны: с КДЦ (ЭОФ-1); с 11-летним солнечным циклом (ЭОФ-2); с 20.4-месячным циклом (ЭОФ-3), который представляет собой интерференцию КДЦ и сезонного цикла, и с Южной Осцилляцией (ЭОФ-4). Была создана и апробирована регрессионная модель для оценки среднемесячных значений ОСО, основанная на ЭОФ. Два первых ЭОФ для УФ также связаны с КДЦ и 11-солнечным циклом соответственно, но, в отличие от озона, первые четыре ЭОФ для УФ объясняют лишь 32% изменчивости аномалий УФ облученности. Проводится анализ дополнительных факторов, влияющих на режим приземной УФ облученности (облачность, аэрозоль и пр.)

Детальный анализ ЭОФ векторов озона и УФ облученности и соответствующих временных коэффициентов выявил временное опережение КДЦ сигнала в озоне и в УФ по сравнению с индексом зонального ветра в Сингапуре на уровне 30 мбар. На основе совместного анализа пространственно-временных структур и фазовых особенностей КДЦ

ветра, озона и УФ облученности предложен механизм указанного выше опережения КДЦ озона и УФ. Обнаружена четкая смена фазовой структуры полей озона в обоих полушариях на широтах 10–15° вблизи границ внутритропической зоны конвергенции.

Представлены предварительные результаты анализа вертикальной структуры озона и УФ облученности на базе спутниковых измерений SBUV.

Применение многоугловых измерений отраженной радиации для определения оптических свойств системы почва-растительность: Оптимальное планирование эксперимента

Покровский И.О.

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

Работа посвящена фундаментальным вопросам обращения данных многоугловых дистанционных измерений посредством использования моделей бинаправленных функций распределения отражения – БФРО (в английском оригинале BRDF – Bi-directional Reflectance Distribution Function).

Рассмотрено влияние двух основных источников погрешностей восстановления БФРО: ошибки измерений и неадекватность (невязка) применяемой параметрической модели. Используются понятия плана эксперимента, функции отклика и информационной матрицы Фишера для количественного описания схемы эксперимента и поиска наилучшей комбинации углов визирования с целью максимизации информационного содержания данных измерений. Рассмотрено два подхода при использовании априорного статистического ансамбля восстанавливаемых БФРО: объединенного ансамбля и нескольких ансамблей, относящихся к разным типам поверхностей системы "почва-растительность" (СПР). В двумерной области зенитных и азимутальных углов визирования (при заданной высоте Солнца) определены локализации, где измерения наиболее чувствительны к параметрам основных моделей БФРО. При этом учитывалась фактическая угловая зависимость невязки моделей при описании оптических свойств важнейших типов СПР. Для диагностики оптимальных планов использовались стандартные статистики Фишера и R^2 . Представлены результаты численных экспериментов демонстрирующих преимущество оптимальных планов по сравнению с использованием равномерного распределения угловых измерений.

Чувствительность радиационного режима атмосферы к неопределенности в задании приземных потоков основных антропогенных загрязнений

Фролькис В.А. (VFrolkis@vf13868.spb.edu)

СПб государственный архитектурно-строительный университет, ул. 2-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

Исследуется чувствительность радиационного режима атмосферы к неточностям в задании приземных потоков в атмосферу ряда основных газов-загрязнителей: закиси азота, метана, окиси углерода, азотных окислов и большой группы хлор- и бромсодержащих химикатов (хлорфторуглероды (ХФУ)). Первые четыре из перечисленного списка обладают как естественными, так и антропогенными источниками, в то время как ХФУ большей частью имеют исключительно антропогенное происхождение.

Величину эмиссии газов-загрязнителей чрезвычайно сложно определить из непосредственных измерений вследствие разнородности их источников. Получаемые оценки

имеют значительные погрешности. Например, ежегодная глобальная эмиссия закиси азота равна около 11 Мт N при разбросе оценок 6.25–19.2 Мт N, метана 560 Мт (разброс 360–892 Мт), азотных окислов 46.4 Мт N (разброс 32.2–71.0 Мт N), окиси углерода 2500 Мт (разброс 1480–4250 Мт). Несколько меньшей неопределенностью характеризуются выбросы ХФУ, так как приблизительно известны объемы их производства.

Выбросы растут от года к году, исключение составляют лишь некоторые ХФУ, производство и использование которых регламентировано Монреальским протоколом. В этой связи влияние неопределенности выбросов на радиационный режим атмосферы должно быть сначала изучено для их стационарного уровня, а затем исследована эволюция выбросов. В рамках рассматриваемой работы мы ограничиваемся обсуждением чувствительности радиационного режима к стационарным потокам, за уровень которых принимаются выбросы 1995 г. Мы полагаем, что уровень неопределенности в эмиссиях источников газов составляет 20%.

Для того чтобы оценить чувствительность модельных результатов к неточностям в задании потоков от земной поверхности в атмосферу рассматриваемых газов, вносятся возмущения в эти потоки, причем разные для потока каждого из газов и разные на каждом модельном временном шаге. Возмущения задаются случайными, предполагаются распределенными по нормальному закону и нормируются так, что амплитуда возмущения не превышает $\pm 20\%$. Интегрирование модели производится в течение 1000 модельных лет и таким образом создается ансамбль из 30 модельных взаимосогласованных полей основных компонент атмосферного воздуха и температуры.

В работе рассматриваются восходящий, нисходящий потоки радиации и радиационный форсинг, которые контролируются парниковыми атмосферными газами и формируют радиационный баланс системы Земля–атмосфера, определяющий изменения климата Земли, а также содержание озона в столбе атмосферы как важного парникового и контролирующего потоки ультрафиолетовой радиации газа, усиление разрушения которого привело к принятию Монреальского протокола. Известно, что разрушение озона имеет место лишь в стратосфере, в то время как в тропосфере ее загрязнение окислами азота и др. влечет рост содержания озона. Из-за этого отдельно рассматриваются суммарное содержание озона в тропосфере и стратосфере. Наконец, как показывают исследования, температура в средней и верхней стратосфере наиболее чувствительна к изменениям в газовом составе и радиационном балансе атмосферы. Поэтому выбраны характерные высоты 30 и 42 км в стратосфере, на которых рассматриваются значения температуры.

Отметим высокую чувствительность к неточностям в задании выбросов радиационного форсинга. Среднеквадратическое отклонение радиационного форсинга при варьировании эмиссий всех газов составляет 29.4%, а для варианта с возмущением выбросов второго по значимости парникового газа – метана – оно около 12%. Суммарный столб озона слабо чувствителен к вариациям в эмиссиях источников газов. В тропосфере отклик на выброс источников газов наибольший, среднее значение столба озона варьируется в пределах 1 ед. Добсона, причем наименьшее его значение приходится на вариант, учитывающий одновременную эмиссию всех газов, а наибольшее – при варьировании источников ХФУ, влияние которых на озон сказывается лишь в стратосфере.

Верхний термический пограничный слой планетной атмосферы: опыт создания общей теории

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

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

Во всех планетных атмосферах есть верхний слой, в котором молекулярная теплопроводность является существенным механизмом в формировании термической

структуры атмосферы. Нами впервые предложена общая одномерная модель этого слоя. Основные положения модели заключаются в (1) использовании чепменовской слоевой аппроксимации источника нагревания атмосферы коротковолновым излучением, (2) представлении охлаждения атмосферы в виде лучистого охлаждения в единственной колебательно-вращательной полосе, (3) переходе к условию лучистого равновесия при стремлении к нижней границе рассматриваемого слоя.

Модель формулируется в терминах безразмерных переменных и параметров. Путем подгонки расчетных профилей температуры под эмпирические нами получены значения этих параметров и соотношения между ними для случаев атмосфер Земли и Марса. Для этих планет выявлено качественное различие взаимосвязей механизмов, определяющих термическую структуру слоя, что связано, вероятно, с различием отношений смеси углекислого газа в атмосферах Земли и Марса на порядки величины. По данным миссии Mars Global Surveyor по торможению спутника получен средний профиль температуры в дневной термосфере северного полушария Марса для весны при пониженном уровне солнечной активности.

Спирально вихревое излучение Солнца. Эффекты в геосферах

Шульц Э.О., Никольский Г.А. (gnik777@mail.ru), Черкасов А.А.

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

Высокогорные наблюдения за воздействиями солнечного спектрального излучения на метеопараметры и локальные погодные процессы продолжались более 20-ти лет. С 2001 г. параллельно со спектральными измерениями, всё больший интерес при полевых исследованиях проявлялся к метеорологическим отзвукам на активность процессов в фотосфере, хромосфере и короне Солнца. Очевидные воздействия солнечных эмиссий на метеорологические, погодные и климатические параметры системы "атмосфера-подстилающая поверхность" привлекли наше внимание к прямым энергетическим вкладам, связанным, как оказалось, не с электромагнитным излучением Солнца (ЭМИС), а со спирально вихревым излучением из ядра Солнца (СВИС), выходящим из активных областей фотосферы, корональных дыр и магнитной сетки. По наблюдениям в 2002–2003 гг. и результатам анализа ряда исследований в различных областях физики были обнаружены и идентифицированы прямые силовые воздействия СВИС на атмосферу, гидросферу, литосферу и биосферу Земли. Только на снижение барометрического давления на 5–7 гПа в локальных районах расходовался поток энергии $(3-5) \cdot 10^6$ эрг/см²с. Особенности эффектов воздействий на атмосферу, гидросферу, литосферу указали на вихревую природу этого излучения, а направленность момента количества движения и импульсов орбитального и углового моментов свидетельствовали об отрицательном давлении энергии поля этого излучения по отношению к гравиполю. Очевидно, что эта энергия не является энергией связи гравитирующих тел, а является непосредственно энергией спирально вихревого излучения Солнца, направленного по радиусу из его ядра. Кванты СВИС – высокочастотные спироны – эмитируются в звездных (солнечном) ядрах в результате гашения возбужденных высокоэнергичных уровней ядер изотопов железа и углерода и переносятся в радиационной зоне так же, как и гамма-кванты, радиально, теряя при этом существенную долю первоначальной энергии ($E = h\nu$). Скорость распространения СВИС снижается от световой при актах эмиссии до, примерно, 10000 км/с в фотосфере и до ~ 6000 км/с во внутренней короне Солнца над активными областями. Скорость эмиссии вихревых гравитонов в солнечном ядре оценивается астрофизиками в 10^{31} с⁻¹. Согласно теории элементарных частиц, жесткие гравитоны обладают энергией, импульсом, спиновым угловым моментом импульса, а вихревые гравитоны (спироны), подобно фотону, еще и орбитальным моментом импульса. Спин спирона равен ± 2 . По нашим оценкам, энергия спирона составляет $\sim 10^{-8}$ эрг, а масса

покоя $\sim 5 \cdot 10^{-30}$ г. Силовые последствия могут иметь место, когда Землю накрывает коллимированный пучок СВИС из тени большого пятна. В этом случае дополнительный поток вихревой энергии, поступающий в систему "атмосфера-подстилающая поверхность" на освещенной полусфере Земли, по-видимому, достигает $5 \cdot 10^{23}$ эрг/с = $0.5 \cdot 10^{17}$ Дж/с. Заметим, что поступление интегрального потока ЭМИС составляет в среднем около $1.7 \cdot 10^{17}$ Дж/с, то есть в рассматриваемом случае вихревая энергия, возможно, составляет до $\sim 30\%$ от поступающей на границу земной атмосферы интегральной электромагнитной энергии Солнца. Однако спирально вихревое излучение не сразу переходит в тепло, но активно участвует в образовании вихрей различного масштаба, как в атмосфере, так и в гидросфере. Допуская, что скорость СВИС вблизи Земли, по крайней мере, в несколько раз больше скорости ускоряемого им потока солнечного ветра (у электронной компоненты сверхскоростного потока солнечного ветра $V \geq 1600$ км/с), время пролета СВИС до Земли составляет около 0.3 суток. Такие временное запаздывание прихода СВИС следует учитывать при составлении прогноза возникновения эффектов в земных сферах.

Полный текст доклада см. на сайте: <http://vd2-777.narod.ru/vihr-effects.htm>

Характеристики притоков тепла по измерениям в приземном слое атмосферы

Елисеев А.А., Привалов В.И. (ozone@Voeikovo.ru)

*Филиал ГГО им. А.И. Воейкова "Научно-исследовательский центр дистанционного зондирования атмосферы",
188685 Лен. обл. п. Воейково, Россия*

Приводятся характеристики вертикального профиля и временного хода длинноволнового радиационного притока тепла (РПТ) в приземном слое атмосферы, полученные путем прямых измерений. Для их определения использовалась оригинальная оптико-акустическая аппаратура, позволяющая определять непосредственно РПТ с высоким (5–7 см) пространственным разрешением. Измерения проводились летом в Цимлянске (Россия) и в северной части Казахстана в сухой степи летом при слабых ветрах, на высотах от 0.1 до 6 м.

Результаты измерений показывают, что в дневное время с приближением к подстилающей поверхности резко увеличивался радиационный нагрев, достигая на высотах 0.1–1 м значений 20–60 К/час. При инверсии радиационное выхолаживание по модулю превосходило фактическое, обычно находясь в пределах от 0 до минус 8 К/час. Среднесуточные значения РПТ характеризовались наибольшим нагревом в нижней части слоя измерений, уменьшением нагрева с высотой и переходом в выхолаживание. Зависимость РПТ на высоте измерений от разности температур "почва-воздух на высоте измерений РПТ" удовлетворительно описывалась уравнениями 2-й степени. Наилучшая корреляция имела место для высот до 1 м. Значения относительной изменчивости единичных значений РПТ, разности температур "почва-воздух", суммарной радиации имеют один порядок величины, причем изменчивость РПТ наименее зависима от облачности. Профиль РПТ, полученный на основе измерений на нескольких уровнях, позволил получить изменение эффективного излучения с высотой в слое 0.15–4 м. Средние изменения эффективного излучения с высотой были минус 25 Вт/м² при сверхадиабатической и + 10 Вт/м² при инверсионной стратификации. Максимальные изменения достигали минус 40 Вт/м² и + 20 Вт/м², соответственно.

В ночное время связь радиационного и фактического изменения температуры, характеризующая нерадиационный приток тепла, носит более сложный характер, чем днем, и требует дальнейшего изучения.

Используемый в данной работе прямой метод позволяет оценивать нерадиационный приток тепла как в стационарных, так и в нестационарных условиях (наличие кучевой облачности, адвекция). Полученные значения РПТ, во много раз превышающие фактические

изменения температуры, свидетельствуют о значительной роли нерадиационных факторов (турбулентность в описываемых измерениях) в формировании теплового режима приземного слоя воздуха. Результаты совместных измерений РПТ и временного хода температуры воздуха позволили косвенно определить изменение теплосодержания, обусловленное турбулентным притоком тепла. Турбулентный приток тепла обычно компенсировал радиационный нагрев при сверхадиабатической стратификации и выхолаживание – при инверсии.

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

Информационно-справочная система "Прозрачность атмосферы"

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

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

В последние годы достаточно активно стали развиваться работы по созданию информационно-вычислительных, информационно-справочных систем (ИСС) и баз данных о состоянии окружающей природной среды. Целый ряд таких разработок посвящен обобщению экспериментальных данных о состоянии атмосферы. При создании подобных систем, как правило, решаются технические, программно-методические и алгоритмические задачи.

Для ведения мониторинга мутности атмосферы на территории России в ГГО была создана информационно-справочная система "Прозрачность атмосферы". Система обеспечивает унифицированный подход к расчету широкого набора характеристик прозрачности атмосферы, как интегральных, так и аэрозольных, рассчитываемых на основе данных о прямой солнечной радиации, поступающих с актинометрических станций Росгидромета. Информационная база системы, как составная часть формируемого в ГГО режимно-справочного банка данных "Актинометрия", является расширяющейся и пополняется исторической информацией и данными текущих наблюдений. За период 1976–1995 гг. входная информация была сформирована на основе архивных данных РСБД "Актинометрия" (по срочным наблюдениям и результатам регистрации). С 1996 г. файлы для пополнения информационной базы "Прозрачность атмосферы" текущими данными (как данными срочных наблюдений, так и данными регистрации) формируются системой автоматизированной обработки актинометрической информации и содержат информацию за месяц по каждой станции отдельно. Для ряда станций за период 1961–1975 гг. файлы входной информации были подготовлены вручную на основе таблиц ТМ-12 и (или) Актинометрических ежемесячников. Вне зависимости от первоначального источника информации величины прямой солнечной радиации во входных файлах базы данных "Прозрачность атмосферы" выражены в кВт/м² и шкале МРЭ.

В дополнение к ИСС "Прозрачность атмосферы" для отдельных станций и регионов России сформированы ряды месячных и годовых значений отдельных характеристик прозрачности (фактора мутности Линке, индекса мутности Махоткина, аэрозольной оптической толщины атмосферы) в виде xls-файлов, содержащих таблицы и графики, на которых представлены:

- изменения характеристик прозрачности во времени для отдельных месяцев и за год в целом, линии трендов и их уравнения;
- гистограммы повторяемости аномалий характеристик прозрачности по градациям для различных периодов времени;
- средний за рассматриваемый период годовой ход характеристик прозрачности с указанием изменчивости месячных величин.

Архивы месячного разрешения позволяют проводить анализ временных изменений и внутригодовой изменчивости характеристик прозрачности атмосферы с отставанием в

пределах полугода от реального времени. Они позволяют оценивать аномалии характеристик прозрачности относительно средних за любые периоды. Анализ совокупности постанционных архивов позволяет составлять обзоры изменений прозрачности за отдельные годы на регулярной основе.

Архивы суточного разрешения позволяют анализировать внутримесячную изменчивость характеристик прозрачности, выявлять периоды аномальной мутности, связанные с воздействием случайных местных источников и лесными пожарами.

Возможности использования ИСС "Прозрачность атмосферы" продемонстрированы на примерах исследования пространственно временных изменений мутности в отдельных регионах России.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (№№ 03-05-64441, 06-05-65293).

Особенности аэрозольных свойств атмосферы в Москве по данным AERONET

Чубарова Н.Е. (chubarova@imp.kiae.ru), Шараев Г.А.

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

Холбен Б.

Центр космических полетов имени Годдарда (GSFC), NASA, США

Аэрозольные свойства атмосферы в значительной степени влияют на формирование климата Земли, поэтому их изучению в последнее время уделяется большое внимание. Одной из наиболее распространенных наземных сетей мониторинга свойств аэрозолей является сеть AERONET (AErosol RObotic NETwork), в которой используются однотипные многоканальные автоматические солнечные фотометры CIMEL, стандартизированные процедуры калибровки и обработки данных [1]. С августа 2001 года Метеорологическая Обсерватория (МО) МГУ вошла в программу AERONET, что позволило начать регулярные спектральные измерения аэрозольных характеристик атмосферы в Москве прибором, откалиброванным по международным стандартам.

Представлены оценки различных аэрозольных характеристик за период с 2001 по 2004 г. и их межгодовой изменчивости в разные сезоны и при различных атмосферных условиях, включая условия дымной мглы. Описываются основные принципы разработанного программного обеспечения, которое служит для создания бюллетеня аэрозольных свойств атмосферы с возможностью использования дополнительных облачных фильтров. Данный пакет программ также используется при совместном анализе аэрозольной и радиационной баз данных МО МГУ. Исследуется возможности применения автоматического критерия отбора данных и дополнительного фильтра по облачности, который описан в статье [2]. По данным измерений показаны эффекты дополнительной облачной фильтрации при оценке различных аэрозольных свойств с разным временным периодом осреднения. В связи с тем, что МО МГУ расположена в крупном городском центре, оцениваются возможные погрешности в восстановленных аэрозольных характеристиках за счет вариаций содержания NO₂. Особое внимание уделяется закономерностям изменений аэрозольных свойств в УФ диапазоне спектра.

1. Улюмджиева Н., Чубарова Н., Смирнов А.. Аэрозольные характеристики атмосферы в Москве по данным солнечного фотометра CIMEL. *Метеор. и Гидрол.*, 2005, 1, 48–57.
2. Holben, B. N. et al. An emerging ground-based aerosol climatology: Aerosol Optical Depth from AERONET. *J. Geophys. Res.*, 2001, **106**, 12 067–12 097.

Радиационный фактор в формировании мезомасштабных синоптических процессов Средней Азии

Курбаткин В.П. (sanigmi@albatros.uz)

*Научно – исследовательский гидрометеорологический институт (НИГМИ), ул. К. Максумова 72, 700052
Ташкент, Республика Узбекистан*

Погодные условия Средней Азии определяются десятью воздушными массами (восемью, вносимыми на территорию региона, и двумя, формируемыми в регионе) и их взаимодействием. Это обеспечивается общей циркуляцией атмосферы, которая классифицируется 15 синоптическими процессами.

Данную классификацию создали В.А. Бугаев и В.А. Джорджио с большой группой метеорологов Ташкента. При ее разработке были учтены свойства подстилающей поверхности равнины и влияние гор (рельефа) на циркуляционные процессы. Была определена роль пустыни в формировании двух воздушных масс (Туранская тропическая воздушная масса и Туранский воздух умеренных широт). Результаты этих исследований в основном были обобщены в середине XX столетия.

Исследования последних 35–40 лет позволили объяснить ряд фактов при представлении классификации синоптических процессов, дать более простое объяснение процессам формирования ряда синоптических ситуаций. При этом учтена структура рельефа (мезомасштаб) и предприняты первые попытки учесть роль солнечной радиации в формировании ряда синоптических процессов. Оценены толщины слоя прогрева воздушной массы и степень ее прогрева над равниной (песчаной пустыней) в годовом режиме.

Показаны ситуации, в которых влажный воздушный поток прогревается лучистой энергией (излучение Земли) над пустыней, проходя над слоем воздуха, иногда "сухого", распространяющегося по вертикали на 1–2 км над поверхностью Земли.

Дано объяснение образованию (усилению) мезометеорологического антициклона над горной системой. Его формирование объясняет разворот воздушного потока в предгорьях на высотах, превосходящих высоты передних хребтов горного массива на востоке региона. А это, в свою очередь, объясняет причину выпадения атмосферных осадков только в предгорьях при одной из разновидностей западного вторжения, протекающего как "вялое" вторжение на высоте выше 2 км – одновременное или предшествующее, или одновременно с северным холодным вторжением, проникающее в горную систему. При этом большую роль играет излучение земной поверхности в сочетании с противоизлучением атмосферы. Существенную роль играет и профиль влажности.

Связь интегральной прозрачности с общим влагосодержанием и аэрозольной оптической толщиной атмосферы

Абакумова Г.М., Горбаренко Е.В. (catgor@mail.ru)

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

Установление корреляционных связей между различными радиационными и метеорологическими параметрами атмосферы по-прежнему является важной задачей актинометрии. К таким параметрам, в частности, относятся коэффициент интегральной прозрачности P_2 , приведённый к массе атмосферы $m = 2$, аэрозольная оптическая толщина τ и общее влагосодержание атмосферы W .

В отличие от P_2 , для которого имеются длинные ряды наблюдений, регулярные измерения τ , являющейся одним из основных параметров, определяющим перенос солнечного излучения в атмосфере, на сети актинометрических станций России, к сожалению, отсутствуют. Общее влагосодержание атмосферы также не определяется.

В Метеорологической обсерватории МГУ (МО МГУ) мониторинг этих параметров осуществляется с 1955 г. По данным МО МГУ за 50 лет (1955–2004 гг.) проанализирована временная изменчивость W , а также исследована связь коэффициента интегральной прозрачности P_2 , определяемого по стандартной методике, с общим влагосодержанием и аэрозольной оптической толщиной атмосферы для длины волны 550 нм (τ_{550}). Общее влагосодержание атмосферы W рассчитывалось на основании эмпирической зависимости между запасом воды в атмосфере, определённым аэрологическим методом, и упругостью водяного пара у земной поверхности для Москвы. Аэрозольная оптическая толщина определялась по наземным измерениям прямой интегральной солнечной радиации и данным о влагосодержании атмосферы.

Средние месячные значения W , полученные по средним за день величинам, в сроки, когда вычислялись характеристики прозрачности атмосферы, изменяются от 0.52 см в январе до 2.37 см в июле, а их коэффициенты вариации колеблются от 31% в январе до 8% в августе. За рассматриваемый период отмечается положительный линейный тренд средних годовых значений W . Тенденция к росту отмечается также и для средних сезонных значений W . Однако статистически значима она только для лета.

Значения коэффициентов корреляции между средними суточными значениями коэффициента прозрачности и общего влагосодержания атмосферы изменяются от 0.035 в декабре до -0.630 в мае, а между коэффициентом прозрачности и аэрозольной оптической толщиной – от -0.946 в ноябре до -0.992 в сентябре. Оценка их значимости показала, что с надёжностью вывода большей 0.999 коэффициенты корреляции между P_2 и τ_{550} значимы в течение всего года, а между P_2 и W – с марта по октябрь. Наиболее тесная связь прозрачности атмосферы с влагосодержанием наблюдается с апреля по октябрь.

Были получены уравнения регрессии между средними суточными и месячными значениями τ_{550} и $\tau_2 = -\ln P_2$ в разные месяцы и сезоны года: $\tau_{550} = a\tau_2 + b$. Для каждого месяца и сезона даны интервалы значений коэффициента прозрачности, рекомендуемые к практическому использованию. Средние за год значения коэффициентов полученных уравнений регрессии близки к величинам: $a = 1.412$ и $b = -0.259$ для "влажной" атмосферы умеренных широт, определённых в работе [1] по данным спектральных измерений. Это свидетельствует о надёжности методики определения аэрозольной оптической толщины атмосферы для длины волны 550 нм по наземным измерениям прямой интегральной солнечной радиации, предложенной в работе [2].

В случае отсутствия регулярных измерений τ_{550} и W полученные уравнения могут быть использованы для восстановления аэрозольной оптической толщины атмосферы для длины волны 550 нм по величине коэффициента интегральной прозрачности для умеренных широт.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 05-05-64696).

1. Бартенева О.Д., Веселовская Л.К., Никитинская Н.И., Сакунов Г.Г. *Прозрачность толщи атмосферы в видимой и ближней ИК-области спектра*. Л., Гидрометеониздат, 1991, 223с.
2. Тарасова Т.А., Ярхо Е.В. Определение аэрозольной оптической толщины атмосферы по наземным измерениям интегральной солнечной радиации. *Метеорология и гидрология*, 1991, 12, 66–71.

Оценка точности определения аэрозольной оптической толщины и влагосодержания атмосферы по данным стандартных наблюдений на основании сравнений с измерениями солнечным фотометром CIMEL

Абакумова Г.М., Горбаренко Е.В., Чубарова Н.Е. (chubarova@imp.kiae.ru)

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

Одной из важнейших задач в климатических исследованиях является пространственно-временная оценка аэрозольных свойств атмосферы. В настоящее время эта проблема решается с помощью развития спутникового и наземного аэрозольного мониторинга, а также

с помощью методов восстановления некоторых аэрозольных характеристик по данным стандартных актинометрических наблюдений.

С 2001 г. в Метеорологической обсерватории (МО) МГУ в рамках программы AERONET осуществляется мониторинг аэрозольных характеристик атмосферы с помощью солнечного фотометра CIMEL. Высокая точность измерений CIMEL (± 0.01) позволяет оценить погрешность определения аэрозольной оптической толщины (АОТ) по наземным измерениям прямой интегральной солнечной радиации [1], ведущимся на сети актинометрических станций России (метод М1).

По наблюдениям МО МГУ за 2001–2004 гг. было проведено сравнение значений АОТ, определённых по методу М1 и приведённых к $\lambda = 500$ нм, с измерениями солнечным фотометром CIMEL второй версии уровня 2. Оно проводилось для синхронных во времени наблюдений с разницей, не превышающей 10 мин. Предварительные сравнения показали, что погрешность определения АОТ несколько завышена (0.03 ± 0.01) при реальных значениях параметра Ангстрема ($n = 1.4$) [2]. Поэтому в методе М1 использовался $n = 1$, при котором различия в АОТ не имеют систематических отклонений.

С 95% вероятностью средняя погрешность метода М1 для типичных условий составляет $\Delta = -0.006 \pm 0.003$, что находится в пределах его точности. Различия между отдельными измерениями при 95% вероятности лежат в диапазоне $\Delta = \pm 0.075$. В сильно замутнённой атмосфере при значениях АОТ > 0.5 , наблюдающихся в основном при условиях дымового аэрозоля, увеличивается поступление в трубку актинометра рассеянной радиации, что ведёт к занижению значений АОТ, определённых по методу М1. Учёт поправки на рассеянный свет в актинометре позволил значительно уменьшить погрешность М1 с $\Delta = -0.24$ до $\Delta = 0.009$. Следует отметить, что по данным МО МГУ за 50 лет (1955–2004 гг.) повторяемость мгновенных значений АОТ > 0.4 составляет 12.5% от общего числа наблюдений ($n = 19519$).

Поскольку в качестве входного параметра при расчете АОТ по методу М1 используется величина влагосодержания атмосферы W , определяемая приближенно по данным об упругости водяного пара у земной поверхности (W_1), то дополнительно проводилось сопоставление этой величины с измерениями CIMEL (W_2). Оно показало наличие линейной связи между W_1 и W_2 : коэффициент корреляции зимой равен 0.63, а весной, летом и осенью 0.90–0.92. В течение всего года (январь–октябрь) W_1 превышает W_2 : в среднем на 0.36 см, а в отдельные месяцы различия колеблются от 0.20 см в марте до 0.52 см в августе. Оценка возможной погрешности в величинах АОТ за счет неточностей определения влагосодержания показала, что при $W > 0.5$ см различия в значениях W , полученных разными методами, практически не вносят дополнительной ошибки в определение АОТ по методу М1.

Обсуждается проблема возможных эффектов неопределённости климатических оценок аэрозольных характеристик за счёт разных методических подходов.

1. Тарасова Т.А., Ярхо Е.В. Определение аэрозольной оптической толщины атмосферы по наземным измерениям прямой интегральной солнечной радиации. *Метеорология и гидрология*, 1991, 2, 66–71.
2. Улюмджиева Н., Чубарова Н.Е., Горбаренко Е.В. О сопоставлении расчетных значений аэрозольной оптической толщины атмосферы с данными измерений солнечным фотометром CIMEL. *Тезисы конференции "Естественные и антропогенные аэрозоли IV"* Санкт–Петербург 2003, <http://aero.phys.spbu.ru/confeaa4/>.

Вариации солнечной радиации в различных областях спектра при безоблачном небе

Абакумова Г.М., Незваль Е.И., Шиловцева О.А. (shil_o@mail.ru)

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

Информация о солнечной радиации при безоблачном небе необходима для решения различных задач физики атмосферы, строительной климатологии, гелиоэнергетики, медицины, биологии. Она позволяет определить возможные значения солнечного излучения, используемые для оценки гелиоэнергетических ресурсов региона, а также даёт возможность оценить влияние облачности на солнечную радиацию.

В Метеорологической обсерватории МГУ (МО МГУ) осуществляется мониторинг интегральной (ИР), ультрафиолетовой (УФР) и фотосинтетически активной (ФАР) солнечной радиации. Измерения ИР (300–4000 нм) проводятся с 1955 г., УФР (300–380 нм) – с 1968 г., а ФАР (380–710 нм) – с 1980 г.

В настоящее время в МО МГУ ведутся работы по подготовке справочника "Радиационные параметры безоблачной атмосферы", в котором будут обобщены результаты многолетних наблюдений за прозрачностью атмосферы, солнечной радиацией в различных областях спектра и естественной освещённостью земной поверхности при безоблачном небе. Одним из параметров этого справочника является суммарная солнечная радиация (Q). На её примере показано, какая информация будет представлена в справочнике.

На основании данных многолетних наблюдений МО МГУ при безоблачном небе проанализированы особенности суточного хода Q в различных участках спектра. Для каждого месяца получены аналитические зависимости Q от синуса высоты солнца и оценена их точность. Исследовано влияние альбедо подстилающей поверхности на суммарную радиацию. Определены статистические характеристики Q для 5-градусных интервалов высот солнца за тёплый (май–сентябрь) и холодный (декабрь–март) период. Дана оценка различий между значениями суммарной ИР, УФР и ФАР в "чистый" период (1994–2001 гг.) и за весь период наблюдений.

Изменчивость солнечной радиации в различных участках спектра, как известно, в значительной степени обусловлена изменением оптического состояния атмосферы. Учитывая это, на основании наблюдений за май–сентябрь 1980–2004 гг. были получены аналитические зависимости Q от высоты солнца h и аэрозольной оптической толщины атмосферы для длины волны 550 нм. Дана оценка относительной ошибки определения Q по эмпирическим соотношениям. Проведено сравнение суммарной радиации, рассчитанной по аналитическим формулам, с модельными расчётами.

Проанализированы тенденции многолетних изменений ИР, УФР и ФАР при безоблачном небе за тёплый (май–сентябрь) и холодный (декабрь–март) периоды.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 05-05-64696).

Спектральное распределение солнечной радиации при сплошной облачности различных форм в Москве по данным измерений MFRSR-7

Горбаренко Е.В. (catgor@mail.ru), Чайка А.Н.

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

Данная работа является началом исследования распределения солнечной радиации в облачной и безоблачной атмосфере по данным спектральных измерений многофилътровым радиометром MFRSR-7. Многофилътовый радиометр с вращающимся затенителем (Multifilter Shadowband Radiometer) фирмы Yankee Environment Systems, INC был получен географическим факультетом МГУ им. М.В. Ломоносова по линии германского кредита,

исследован и установлен на актинометрической площадке метеорологической обсерватории МГУ. По измерениям суммарной солнечной радиации в 6 узких спектральных интервалах (каналы 413.2 нм, 495.5 нм, 616.0 нм, 673.0 нм, 868.6 нм, 940.5 нм) и ежечасным визуальным наблюдениям за облачностью, проведенным в холодный период 2005–2006 г, оценено пропускание солнечной радиации сплошной нижней, средней и верхней облачностью при устойчивом снежном покрове.

Пропускание (Q/Q_0) определялось как отношение спектральных потоков в облачной атмосфере (Q) к потокам в безоблачной атмосфере (Q_0) при той же высоте солнца. Для определения Q_0 были получены зависимости спектральных потоков суммарной радиации от высоты солнца при ясном небе и высокой прозрачности атмосферы. При высотах солнца выше 5 град. это отношение можно считать независящим от высоты солнца.

В среднем при наличии сплошного покрова нижней облачности суммарная радиация ослабляется до 80% по всему спектру. Наибольшее ослабление и наименьший разброс значений пропускания отмечен при ровной и низкой слоистой и слоисто-разорванной (St , $Stfr$) облачности. Ослабление солнечной радиации слоисто-кучевой (Sc) облачностью и их сочетанием с кучево-дождевой облачностью изменялось в широких пределах (50–80%). Распределению Q/Q_0 при Sc характерно наличие нескольких мод, что определяется неровной структурой слоисто кучевой облачности, а так же наличием или отсутствием над ней облаков верхнего и среднего ярусов, кроме того, эти формы облаков преобладали в период наблюдений. Высокослоистые облака (As) среднего яруса ослабляют поток на 50–60%. Ослабление облаками верхнего яруса (Ci , Cs , Cc) селективно и меняется от 5–20%. В некоторых случаях отмечалось увеличение потоков, в фиолетовом спектре до 30%, что связано с состоянием солнечного диска. При облаках верхнего яруса наблюдается частичное или полное отсутствие облаков на солнце, в результате прямая радиация не ослабляется, а суммарная возрастает за счет увеличения рассеянной. Наибольшее ослабление радиации для всех видов облаков отмечено в полосе поглощения воды 940.5 нм, отношение Q/Q_0 при сплошной облачности составило для St – 0.06, Sc – 0.11, As – 0.31, Ci – 0.42. Пропускание в этом канале зависит от водности облаков.

В метеорологической обсерватории МГУ начато создание базы данных по ослаблению спектральной солнечной радиации облаками различных форм. Работа будет продолжена, что позволит получить достоверные оценки влияния облачности на спектральное распределение солнечной радиации, а также получить климатические оценки основных параметров облаков.

Радиационные режимы рисовых полей в различных участках спектра

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

*Научно – исследовательский гидрометеорологический институт (НИГМИ), ул. К. Максумова 72, 700052
Ташкент, Республика Узбекистан*

В настоящее время накоплен большой опыт в области оценки состояния и продуктивности основных сельскохозяйственных культур, разработаны методы оценки агроклиматических ресурсов, методы долгосрочного прогноза урожая основных сельскохозяйственных культур, метод оценки влагообеспеченности и продуктивности посевов риса в условиях дефицита водных ресурсов и т.д.

Следует отметить, что в агрометеорологических исследованиях, проводимых до настоящего времени, солнечная радиация, а тем более, радиационные режимы в различных участках спектра в Республике Узбекистан не учитывались, или учитывались косвенно.

Следовательно, оценка чувствительности продуктивности риса к радиации в целом, оценка фактического и максимального урожая, разработка метода оценки влияния солнечной радиации на продуктивность и на этой основе уменьшение разрыва между теоретически возможными и действительными урожаями – очень важная проблема, решение которой в будущем будет способствовать повышению урожая. Отметим, что урожай риса в Республике

Узбекистан в 1.5–2.0 раза ниже, чем в странах Восточной Азии (Китай, Япония) и в Европейских странах (Испания, Италия). В связи с этим, исследование радиационных режимов рисовых полей в различных участках спектра, выявление их влияния на урожай, нахождение оптимальных условий для максимальной продуктивности, является очень актуальным и позволит повысить урожайность риса, расширить ареал ее возделывания, будет способствовать оптимальному размещению посевов риса на территории Республики Узбекистан с учетом радиационных и агроклиматических ресурсов.

Данные исследования проводятся сотрудниками отдела сельскохозяйственной метеорологии ОСХМ НИГМИ на полях УзНИИ риса с 2003 г. по настоящее время. Исследования радиационных режимов рисовых полей проводились в видимой области спектра и в области спектра фотосинтетически активной радиации (ФАР). Проведенные исследования показали, что растительный покров риса, как и других сельскохозяйственных культур, оказывает довольно существенное влияние на радиационные режимы рисовых полей. В начальные фазы развития растений при слаборазвитом растительном покрове, разница между приходящей суммарной радиацией и ее составляющими и поглощенной в растительном покрове небольшая и составляет 10–15%. В период цветения – выметывания метелки (максимальный развитый растительный покров) – эта разница увеличивается до 85–95%. В этом случае можно сказать, что верхний 15–20 см слой посева поглощает до 93% солнечной радиации, причем максимальное поглощение наблюдается в периоды максимальной фотосинтетической деятельности растений. Для риса этот период наблюдается с 9 до 13 часов местного времени. Проведенные детальные исследования в период максимальной фотосинтетической деятельности риса, с шагом во времени 30 мин, показали прямую зависимость между поглощенной суммарной радиацией и сухой биомассой растений, которая подтверждается другими исследованиями.

Следует отметить, что данные зависимости в более узких участках спектра (ФАР и внутри нее) еще более тесные. Имеются также тесные зависимости между сухой биомассой растений и отдельных ее частей (листьев, стеблей), а также зависимости урожая риса от суммарной радиации в различных участках спектра. Эти зависимости могут быть использованы в прогностических целях. Данные исследования позволят не только понять и изучить радиационные режимы рисовых полей в различных участках спектра, но и получить различные радиационные параметры для оценки состояния растительного покрова, подготовить рекомендации для лучшего использования солнечной энергии рисом в различных регионах Узбекистана.

В заключение можно отметить, что данные исследования являются новыми в области освещения использования солнечных ресурсов растениями и могут стать базой для решения различных задач агрометеорологического районирования риса с учетом использования ФАР, а также в различных моделях продукционного процесса в рисоводстве. Метод будет использован на практике при обслуживании рисоводства, планирующими организациями и будет способствовать повышению урожая риса.

Оценка радиационного режима различных подстилающих поверхностей Узбекистана

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

*Научно – исследовательский гидрометеорологический институт (НИГМИ), ул. К. Максумова 72, 700052
Ташкент, Республика Узбекистан*

Солнечная радиация является одним из главных факторов, обуславливающих основные процессы жизнедеятельности растений. В природе условия внешней среды для растений очень разные. Некоторые зоны и обитающие в них виды полностью обеспечены теплоресурсами, в том числе и солнечной энергией, необходимыми для жизнедеятельности с высокой продуктивностью. Но существуют регионы с недостаточными ресурсами для

произрастания того или иного вида. Поэтому исследования по оценке радиационного режима различных подстилающих поверхностей Узбекистана актуальны, что позволит в будущем разработать различные методы обеспечения высокой урожайности сельскохозяйственных культур. Описанием одного из таких методов и является данная работа.

Исследования по оценке радиационного режима различных подстилающих поверхностей Узбекистана проводились в отделе сельскохозяйственной метеорологии (ОСХМ НИГМИ) на экспериментальной базе НИГМИ, расположенной в Ташкентской области в течение 1993–2002 гг. и на полях УзНИИ риса с 2003 г. по настоящее время. Оценка радиационного режима проводилась для различных сельскохозяйственных культур: кукуруза, хлопчатник, пшеница, рис. Наблюдения за суммарной радиацией в видимой области спектра выполнены актинометрическими приборами Ю.Д. Янишевского, а в области спектра фотосинтетически активной радиации (ФАР) – фарометром, сконструированным одним из авторов. Наблюдения за составляющими суммарной радиации выполнены на различных уровнях измерений, которые охватывали как проходящую, так и поглощенную посевами солнечную радиацию. Кроме того, параллельно проводились метеорологические наблюдения за температурой и влажностью воздуха, скоростью ветра и другими метеорологическими параметрами. Методика наблюдений стандартная, общепринятая.

Проведенные исследования показали, что у различных подстилающих поверхностей (травостой, зерновые и технические культуры) наблюдается различное ослабление (уменьшение) составляющих суммарной радиации, причем в области спектра ФАР это различие еще более усиливается. Наибольшее ослабление суммарной радиации и ее составляющих отмечается в периоды максимального развития растительных покровов данных культур. Так, например, в посевах кукурузы, в период выметывания метелки (высота растений $H = 1.0$ м) в верхнем 25–30 см слое суммарная радиация ослабевает до 93–95%, а в посевах риса в период выметывания метелки (высота растений $H = 1.0$ м) в верхнем 15–20 см слое она уменьшается до 90–93%. В области спектра ФАР процент ослабления суммарной радиации еще более усиливается и составляет 95–97% (кукуруза), 93–95% (рис) и 90–93% (пшеница). Причем густота стояния растений может также изменять процент ослабления суммарной радиации, и это изменение колеблется у различных культур в пределах 10–25%.

Наши исследования показали, что так называемая цветность растений, т.е. переход от темных оттенков к более светлым, которая наблюдается почти у всех сельскохозяйственных культур, также приводит к изменению радиационного режима растительных покровов, причем процент ослабления суммарной радиации еще более усиливается и может достигать до 30–40%.

Проведенная комплексная оценка различных подстилающих поверхностей в Узбекистане поможет не только повысить урожайность сельскохозяйственных культур, но и дать рекомендации к лучшему использованию солнечной энергии. Путем изменения архитектуры посева (сроки сева, густота, высота растений, норма удобрений и т.д.) повысить к.п.д. посевов, выявить агроклиматический потенциал территорий для дальнейшего районирования культур и разработать методы размещения различных сортов риса с учетом агроклиматических и радиационных ресурсов.

Следует отметить, что данные исследования проводятся в рамках общей темы в ОСХМ НИГМИ "Разработать метод оценки влияния радиационно-энергетических ресурсов на продуктивность риса", которая получила поддержку в Центре Науки и технологий Республики Узбекистан в виде гранта.

Световые ресурсы европейской территории России при безоблачном небе

Шиловцева О.А. (shil_o@mail.ru), Балдина Е.А.

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

На базе многолетних наблюдений за естественной освещенностью (1964–2003 гг.), проводимых в Метеорологической обсерватории Московского государственного университета, были получены оценки светового режима в г. Москве при безоблачном небе.

Созданный банк данных по освещенности (E) при безоблачном небе (облачность не превышала 1 балл и диск солнца был с отметкой "2") позволил получить:

1. Эмпирические зависимости:

- рассеянной, прямой и суммарной освещенности и соответствующих световых эквивалентов от высоты Солнца при различной подстилающей поверхности;
- рассеянной, прямой и суммарной освещенности и соответствующих световых эквивалентов от оптической плотности аэрозоля;
- соотношения прямой и рассеянной освещенности в суммарной от высоты Солнца и оптической плотности аэрозоля.

2. Средние величины количества освещения и его световые эквиваленты за разные промежутки времени (от часа до года);

3. Закономерности многолетних изменений освещенности при безоблачных условиях за весь период наблюдений.

Сопоставление данных наблюдений с модельными оценками, полученными на основе теоретических расчетов солнечного спектра методом Монте-Карло, выявило в целом хорошее согласование между данными. Наиболее существенные расхождения отмечены в ходе изменений светового эквивалента рассеянной радиации от высоты солнца при высокой прозрачности атмосферы.

Полученные оценки световых эквивалентов при ясном небе были использованы для расчета уровней освещения на территории Европейской России. Расчеты проводились на базе средних величин радиации при безоблачном небе, представленных в научно-прикладных справочниках по климату СССР [Гидрометеиздат, 1990-е гг.]. Кроме того, были использованы данные по географическому распределению по территории средней за месяц аэрозольной оптической плотности, полученные в обсерватории МГУ, и влагосодержания атмосферы по данным атласа "Содержание и перенос влаги в атмосфере над территорией СССР" под редакцией Л.П. Кузнецовой. На основании этих расчетов были построены карты распределения освещенности в полдень, за ясные сутки, за разные сезоны года.

Полученные закономерности распределения освещенности по территории дают представление о реальных значениях прихода естественной освещенности с учетом влияния крупных городов. Основными особенностями географического распределения возможного количества освещения суммарным светом за месяц при безоблачном небе можно считать, во-первых, отсутствие ожидаемого широтного распределения величин радиации в летние месяцы. Для всей рассматриваемой территории в целом в июле характерен практически одинаковый уровень освещения. За счет полярного дня и очень высокой прозрачности атмосферы на севере территории суммы освещения в летний сезон получились даже несколько выше, чем в южных районах. Во-вторых, наблюдается некоторое отклонение от широтного хода для изолиний количества освещения в апреле и октябре, что связано, скорее всего, с влиянием мутности атмосферы и альбедо подстилающей поверхности. Кроме того, даже для уровня средних сумм четко прослеживается процесс уменьшения освещения в крупных городах. Например, в Москве возможная сумма освещения на 3–11% меньше в зависимости от сезона года по сравнению с аналогичными величинами на станции Подмосковная, в Санкт Петербурге – на 3–6% по сравнению с суммой на станции Воейково.

Распределение полуденных значений естественной освещенности суммарным светом по территории имеет распределение, близкое к широтному. Наблюдаемое отклонение от него (например, вблизи Москвы) вызвано вариациями в прозрачности атмосферы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 05-05-64696).

Изменение радиационного режима на территории Украины

Рыбченко Л.С. (nigmi2@yandex.ru)

Украинский научно-исследовательский гидрометеорологический институт, пр-т Науки 37, 03028 Киев, Украина

Одной из важных характеристик радиационного режима является продолжительность солнечного сияния, зависящая от ряда природных и антропогенных факторов. Полученные результаты дают возможность проследить временную динамику пространственного распределения указанной величины на территории Украины за период 1961–2000 гг. (табл.1).

Таблица 1

Продолжительность (час) солнечного сияния по отдельным десятилетиям

Станция	1961–1970 гг.			1971–1980 гг.			1981–1990 гг.			1991–2000 гг.		
	VII	XII	I-XII	VII	XII	I-XII	VII	XII	I-XII	VII	XII	I-XII
Ковель	274	34	1887	247	38	1737	268	35	1814	287	36	1874
Борисполь	297	34	1999	259	40	1868	285	42	1920	313	43	1992
Полтава	314	31	2027	280	39	2022	303	46	2078	344	37	2024
Харьков	307	25	1946	256	25	1757	252	27	1640	294	46	1848
Винница	283	39	1935	247	40	1780	274	33	1870	284	42	1926
Днепропетровск	319	32	2032	276	36	1851	305	33	1919	320	29	1922
Дебальцево	340	29	2088	298	35	2000	315	37	1968	325	34	2033
Ужгород	286	36	1974	250	48	1870	281	43	1892	292	46	2014
Черновцы	263	50	1956	225	58	1696	247	46	1762	270	47	1781
Одесса	334	41	2250	293	61	2064	312	58	2173	332	53	2280

Из таблицы видно, что июль для значительной части территории оказался наименее солнечным в 1971–1980 гг. Большой продолжительностью солнечного сияния характеризовались первое и последнее десятилетия, причем на севере и западе она была наибольшей. В декабре меньше всего открытое Солнце наблюдалось в 1961–1970 гг., а больше всего в 1971–1980 гг. Наименьшие годовые суммы относятся к 1971–1980 гг., а наибольшие – к первому и последнему десятилетию. В течение 40-летнего периода изменение подобно по всей территории и определяется, в основном, циркуляционными процессами. По результатам долговременных измерений в Киеве (Борисполь) и Полтаве в течение XX столетия ход продолжительности солнечного сияния хорошо согласуется с ходом температуры.

За период 1961–1990 гг., определенный ВМО для расчета средних значений (норм) метеорологических величин, проведен анализа хода энергетической освещенности составляющих суммарной радиации по измерениям (июль, полдень) в условиях ясной и облачной погоды. Привлекались данные станций юга и центра страны, где повторяемость ясной погоды превышает 70%. Результаты анализа свидетельствуют о заметном уменьшении прямой солнечной радиации на всех пунктах наблюдений. Наибольшие колебания составляющих суммарной радиации наблюдались в центре (Полтава), чаще всего в облачную погоду, а наименьшие - в Одессе, расположенной на берегу моря.

Величины годовых сумм радиационного баланса характеризовались существенными изменениями по всей территории. Произошло их сокращение, больше всего зимой и летом.

Во второй половине периода наблюдений это уменьшение на отдельных станциях происходило в пределах 5–20%.

Особенно контрастно проявляется изменение потоков солнечной радиации в городах. Так, в Одессе отмечено значительно большее падение прямой солнечной радиации и возрастание рассеянной, чем в расположенном поблизости Болграде, причем, не только в ясную погоду, но и в облачную.

Результаты экспериментальных исследований в промышленных городах (Запорожье, Мариуполь) показывают, что загрязненный воздух изменяет спектр прямой радиации в направлении увеличения относительной доли энергии более длинных участков спектра, т.е. происходит его "покраснение". При этом отмечается существенное уменьшение биологически активной радиации.

Город может вносить существенный вклад и в изменение альбедо, влияющее на формирование потока поглощенной радиации, а, в конечном итоге, и радиационного баланса. Величины альбедо, рассчитанные по десятилетиям второй половины XX столетия, свидетельствуют о заметных различиях в его значениях для Полтавы (центр страны) и Одессы (южное побережье), а также для Одессы и расположенного рядом, но удаленного в глубь суши, Болграда (табл.2). Эти различия связаны с расположением Одессы на берегу моря, что определяет здесь относительно большую неустойчивость снежного покрова. Влиянием моря объясняется и наименьшее колебание альбедо в Одессе.

Таблица 2

Альбедо (%) деятельной поверхности в январе и июле по десятилетиям

Станция	1951–1960 гг.		1961–1970 гг.		1971–1980 гг.		1981–1990 гг.		1991–2000 гг.	
	I	УП	I	УП	I	УП	I	УП	I	УП
Полтава	51	19	65	19	56	22	57	21	60	20
Одесса	29	17	36	17	32	16	27	17	36	18
Болград	43	19	47	19	35	20	33	20	50	20

Эффективное излучение зависит от степени загрязнения атмосферного воздуха. Особенно это прослеживается зимой, когда задерживающие слои способствуют накоплению загрязняющих веществ в непосредственной близости от земной поверхности. В это время наиболее заметны различия в значениях эффективного излучения для пунктов с разным уровнем загрязнения атмосферы. Для среднегодовых значений эти различия незначительны.

Характеристики радиационного режима регионального климата связаны не только с антропогенным влиянием, но в существенной степени и с циркуляционным фактором. Последний определяется изменениями глобального масштаба, в том числе, и радиационных характеристик. Результаты наблюдений, проведенных в Антарктиде (метеостанция Академик Вернадский, ранее Фарадей), показали наличие значительных колебаний продолжительности солнечного сияния за имеющийся период наблюдений (начиная с 1957 г.). В настоящее время исследование проводится согласно договора с Национальным антарктическим научным центром по Госпрограмме исследований в Антарктиде на 2002–2010 гг. (распоряжение КМ Украины от 13.09.2001г. № 422-р) в рамках темы "Синоптико-климатическая характеристика района антарктической станции Академик Вернадский".

Солнечная УФ радиация и синтез витамина D

Орлова Т.Н. (orlovat@gmail.com), Теренецкая И.П.

Институт физики НАН Украины, пр. Науки 46, 03028 Киев, Украина

Высокие дозы солнечной УФ радиации оказывают негативное влияние на организм, приводя к различным острым и хроническим заболеваниям. Однако, в надлежащих дозах

солнечный УФ производит положительный эффект, инициируя биологически важную реакцию синтеза витамина D, регулирующего фосфорно-кальциевый обмен.

Проведенные модельные расчеты демонстрируют сильную зависимость витамин-D синтезирующей способности солнечной УФ радиации от толщины стратосферного озонового слоя и альбедо земной поверхности.

Измерения витамин-D синтезирующей способности проводились в Киеве (50.23 N, 30.32 E) в течение 2003–2005 гг. с использованием vitD-дозиметра (раствор провитамина D в этаноле), основанного на синтезе витамина D *in vitro*. УФ облучение провитамина D в пределах его полосы поглощения (240–315 нм) приводит к образованию превитамина D, который термохимическим путем преобразуется в витамин D. Для определения количества образующегося превитамина D стандартная прямоугольная кварцевая кювета ($d = 0.5$ см) с раствором провитамина D ($C = 20$ мкг/мл) экспонировалась нормально к солнечным лучам в течение 3 часов вокруг полудня.

Спектры поглощения до и после УФ облучения регистрировались в диапазоне 230–330 нм для дальнейшей компьютерной обработки. Обнаружено, что в ясные дни после 3-х часовой экспозиции концентрация накопленного превитамина D может достигнуть 18%. Полученные результаты также подтверждают рассчитанную сезонную зависимость витамин-D синтезирующей способности солнечной УФ радиации.

Исследование изменчивости аэрозольной оптической толщины атмосферы, температуры воздуха и солнечной радиации у поверхности Земли на территории России

Панкратова Н.В. (pankratova@ifaran.ru), Плахина И.Н. (plakhina@ifaran.ru)

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

Махоткина Е.Л. (makhotk@main.mgo.rssi.ru), Мирвис В.М. (mirvis@main.mgo.rssi.ru)

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

Обобщены вариации аэрозольной оптической толщины (АОТ) вертикального столба атмосферы по данным около 50 станций актинометрической сети Росгидромета за период с 1976 года по 2003 год. Оценка АОТ для длины волны 0.55 мкм выполнена по измерениям прямой солнечной радиации и влажности у поверхности Земли.

Рассматривались многолетний ход, сезонные вариации и пространственные изменения АОТ. Среднее значение АОТ (при осреднении данных по всем станциям за указанный период) составило 0.15, что весьма близко к среднегодовому глобальному значению АОТ для северного полушария равному 0.14, рассчитанному по модели ЕСНАМ-НАМ, и к оценкам, выполненным по спутниковым данным.

Изменчивость среднегодовых и среднемесячных АОТ достаточно велика, коэффициенты вариации c_v колеблются в пределах 25–40 %. При этом значительная часть колебаний АОТ, отмечаемых на большинстве станций в период с 1976 по 2003 гг, с вероятностью 70% не выходит за пределы $\pm \sigma$. Максимальные положительные аномалии среднегодовых значений АОТ обусловлены проявлениями последствий вулканических извержений и отмечаются в 1983 г. (более 1.5 σ) и в 1992 г. (более 2.0 σ).

Для большинства станций выявлена тенденция к уменьшению АОТ за рассмотренный период, более выраженная в весенне-летнее время. Показано, что период после 1994 г. характеризуется "очищением" атмосферы от аэрозоля, связанным с отсутствием крупных вулканических извержений и промышленным "затишьем" последних 10 лет. За последнее десятилетие уменьшение средних АОТ составляет около 30% по сравнению с 2-мя предыдущими десятилетиями.

По данным специальной выборки из 20-и актинометрических станций, имеющих полные ряды наблюдений за период 1976–2003 гг., проанализированы синхронные изменения АОТ, температуры воздуха, суммарной и прямой солнечной радиации у

поверхности Земли. По этим данным выявляются: а) устойчивая тенденция увеличения температуры, составившая несколько десятых градуса за 30 лет; б) практическое отсутствие трендов суммарной солнечной радиации; в) устойчивая тенденция уменьшения АОТ, составившая в среднем 0.05 за 30 лет.

В рядах АОТ, температуры воздуха и суммарной радиации рассмотрены проявления извержений вулканов Эль Чичон (апрель, 1982) и Пинатубо (июнь, 1991). Вулканическое воздействие прослеживалось в течение года после извержения, когда достигался максимум АОТ, увеличение АОТ достигало 100%, совпадая при этом для отдельных станций с синхронным уменьшением приземной температуры примерно на 2–3°C, что отражает охлаждение приземной атмосферы слоем вулканического стратосферного аэрозоля. Приведенные оценки получались только для отдельных станций по многолетним изменениям среднемесячной (за апрель каждого года) температуры приземного воздуха, измеренной синхронно с коэффициентом прозрачности атмосферы. Для тех же станций прослеживается слабая отрицательная корреляция ($r \sim 0.3\text{--}0.4$) аномалий средне-апрельской приземной температуры и величины коэффициента прозрачности при массе 2: при этом аномалии меняются в среднем от 1.6°C при интегральном коэффициенте прозрачности атмосферы $P_2 = 0.8$ до минус 2.0°C при $P_2 = 0.7$, что соответствует изменениям прозрачности атмосферы от "чистой" в 2001–2002 годах до сильно замутнённой в 1983 и 1992 годах. Средние значения аномалий месячных значений АОТ, суммарной радиации (при ясном небе, приведённой к одной и той же высоте Солнца путём параметризации среднего дневного хода) и среднемесячной температуры воздуха в периоды, следующие за вулканическим извержением, составили соответственно: 0.07, – 10 Вт/м², 1.4°C (Эль Чичон), 0.11, – 20 Вт/м², 1.8°C (Пинатубо). Тем самым, глобальный положительный тренд приземной температуры в среднем полностью нивелирует региональный охлаждающий эффект вулканического стратосферного аэрозоля.

Комплексный подход к оценке потенциала глобального потепления на основе полинейных радиационных расчетов и радиационно-конвективных моделей

Гинзбург А.С.

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

Романов С.В. (romanov@imp.kiae.ru), Фомин Б.А.

РНЦ "Курчатовский Институт", НТК "Системный Анализ", пл. Курчатова 1, 123182 Москва, Россия

В связи с подготовкой Четвертого оценочного доклада МГЭИК в настоящее время представляется необходимым оценить на основе современных спектроскопических данных и методов радиационных расчетов потенциал глобального потепления (ПГП) для атмосферных газов, включенных в Приложение А к Киотскому протоколу.

Предлагаемый подход к оценке ПГП предусматривает использование полинейных расчетов на основе новейших спектроскопических баз данных и моделей континуального поглощения. При этом, расчеты следует проводить как для модели полностью перемешанных парниковых газов, так и с учетом их реальной стратификации.

Соответствующие температурные эффекты могут быть оценены с помощью малоуровневой радиационной модели климата.

Математическое описание излучения фона облачного неба в инфракрасном и ультрафиолетовом диапазонах волн

Соловьев В.А. (sva@keytown.com), Купреев А.В.

*Военная академия войсковой ПВО Вооруженных Сил Российской Федерации, ул. Котовского 2, 214027
Смоленск, Россия*

При решении задач синтеза оптико-электронных устройств наблюдения за летательными аппаратами необходимо знание статистических характеристик излучения фона облачного неба в оптическом диапазоне волн. Это связано с тем, что при обнаружении воздушных целей необходимо решать задачу выделения полезного сигнала на фоне создаваемых облачной атмосферой естественных помех. При этом целесообразно иметь априорную информацию об излучении неба в форме математических моделей, как функций угловых координат – азимута β , отсчитываемого от направления противосолнечного вертикала, и угла места ε . Для получения математических моделей проводились регулярные многолетние наблюдения яркостей излучения неба в диапазонах длин волн 3–5, 8–13 и 0.3–0.44 мкм. Измерения яркостей неба выполнялись с помощью радиометрической аппаратуры с угловым разрешением 5×5 минут дуги. Регистрация яркостей осуществлялась одновременно по трем каналам в одном поле зрения.

На основании результатов натурных исследований были получены табличные модели, описывающие зависимости средних значений яркостей и дисперсий их флуктуаций. На основе табличных моделей был обоснован вид уравнения регрессии в виде полинома второй степени, зависящих от азимута и угла места. С использованием аппарата регрессионного анализа были определены неизвестные коэффициенты полинома, которые минимизировали сумму квадратов разностей между яркостями (дисперсиями) и экспериментальными (табличными) значениями. В результате были вычислены векторы (наборы) коэффициентов моделей для энергетических яркостей исследованных облачностей (безоблачное небо, кучевая, слоистая и перистая облачность 1–3, 4–6, 7–9 баллов) в диапазонах 3–5, 8–13 и 0.3–0.44 мкм и дисперсий их флуктуаций. Совокупность уравнений регрессии и коэффициентов для выбранного вида облачности представляет собой математическую модель излучения неба при данном виде облачности.

Была проведена оценка достоверности полученных математических моделей с использованием приближенной методики, при которой установлено, что доверительные интервалы при доверительной вероятности 0.9 не превышают 11% от измеряемой величины яркости. Выбор приближенной методики обусловлен существенным отличием закона распределения энергетической яркости от нормального.

На основе анализа полученных математических моделей излучения неба можно выявить следующие закономерности.

При безоблачном небе в диапазоне 3–5 мкм в пригоризонтной зоне наблюдается большая энергетическая яркость, обусловленная излучением не облаков, а приземного воздуха. С возрастанием угла места яркость неба падает. Кроме того, наблюдается возрастание яркости по мере приближения к краям сектора сканирования (к направлению на Солнце). В диапазоне 8–13 мкм наибольшая яркость наблюдается у земли и затем убывает с увеличением угла места. Для этого диапазона характерно отсутствие зависимости от азимута β . Это связано с тем, что в данном диапазоне рассеянное солнечное излучение практически отсутствует, поэтому он оказывается менее критичным к углу относительно направления на Солнце. Для диапазона 0.3–0.44 мкм характерна большая яркость у земли, затем она падает при углах около 30° и вновь возрастает с увеличением угла места. Очевидно, это связано с большим рассеянием солнечного излучения неоднородностями атмосферы при больших углах наблюдения. В ультрафиолетовом участке спектра наблюдается увеличение яркости по мере приближения к направлению на Солнце, как и в случае 3–5 мкм. Дисперсии флуктуаций яркости в диапазоне 3–5 мкм у земли самые большие, снижаются по мере возрастания угла места до 20–30°, а затем незначительно возрастают с увеличением ε .

Кроме того дисперсии флюктуаций увеличиваются с приближением к краям сектора сканирования. Аналогичный характер поведения дисперсий отмечается и в диапазонах 8–13 и 0.3–0.44 мкм, но в ультрафиолетовом диапазоне дисперсии изменяются более существенно.

При кучевой облачности в диапазоне 3–5 мкм с увеличением угла места яркость уменьшается при всех количествах облачности и зависит от азимута. При плотных облаках (7–9 баллов) на углах места 40–45° наблюдается увеличение яркости, что, по-видимому, связано с благоприятными условиями рассеяния солнечного излучения кромками облаков. В диапазоне 8–13 мкм по мере увеличения угла ε яркость уменьшается и от азимута практически не зависит. В ультрафиолетовом диапазоне волн с возрастанием угла места яркость уменьшается, но при большом количестве облачности (7–9 баллов) она наоборот увеличивается. Характерным для этого диапазона является также и то, что при 1–3 и 4–6 баллах при углах места 25–30° наблюдается скачек яркости, а с увеличением плотности облаков до 7–9 баллов этот выброс смещается на угол $\varepsilon = 40\text{--}45^\circ$. По-видимому, это связано со сложным характером рассеяния ультрафиолетового излучения облаками. Дисперсии флюктуаций яркости при кучевой облачности 1–3 балла во всех спектральных диапазонах имеют одинаковый характер пространственного распределения. С увеличением угла места ε они незначительно уменьшаются и по мере приближения к направлению на Солнце возрастают. При этом в ультрафиолетовом диапазоне при углах места $\varepsilon = 25\text{--}30^\circ$ наблюдается выброс при всех значениях β . С возрастанием количества облачности до 4–6 баллов в диапазонах 3–5 и 0.3–0.44 мкм с увеличением угла места дисперсии незначительно уменьшаются и на краях сектора сканирования они возрастают. В диапазоне 8–13 мкм – наоборот, с увеличением ε дисперсии нарастают.

При плотной кучевой облачности 7–9 баллов дисперсии изменяются по более сложным законам. В диапазоне 3–5 мкм по мере увеличения ε дисперсии уменьшаются и зависят от азимута. В диапазоне 0.3–0.44 мкм наоборот, дисперсии увеличиваются. В диапазоне 8–13 мкм наблюдается увеличение дисперсий в центре сектора сканирования (при углах $\varepsilon = 30\text{--}40^\circ$ и $\beta = \pm 60^\circ$).

При слоистой облачности поведение средних значений энергетической яркости практически повторяет картину, наблюдаемую при кучевой облачности. Однако в ультрафиолетовом диапазоне волн появляется больше всплесков яркости независимо от азимута при различных углах места. В частности, при облачности 1–3 балла на углах места 25 и 50°, при средней плотности облаков (4–6 баллов) на углах места: 15, 30, 45 и 55°, при плотной облачности – при 30 и 35°. Дисперсии флюктуаций при слоистой облачности имеют в основном такой же характер, как и при кучевой в диапазонах 3–5 и 0.3–0.44 мкм. В то же время в диапазоне 8–13 мкм наблюдается обратный ход дисперсии, т. е. с возрастанием угла места она, хотя и незначительно, возрастает.

При перистой облачности характер излучения неба во многом схож со случаем безоблачного неба, но здесь характерен больший размах дисперсий флюктуаций.

Таким образом, полученные математические модели позволяют оценить характер излучения неба в инфракрасном и ультрафиолетовом диапазоне длин волн, однако они не отражают резких изменений яркостей при определенных углах места, характерных для ультрафиолетового диапазона. По этой причине при практическом применении следует использовать как математические, так и табличные модели.

СЕКЦИЯ 3. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РАДИАЦИИ С ОБЛАКАМИ И АЭРОЗОЛЕМ

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

Сопредседатели: проф. **Г.И. Горчаков** (ИФА РАН, Москва), д.ф.-м.н. **А.Г. Петрушин** (ИЭМ, Обнинск)

Исследование вариаций радиационных характеристик аэрозоля

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

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

Представлены результаты измерений в период с 1991 г. по 2005 г. на Звенигородской научной станции Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН коэффициента рассеяния (и пропорциональной ему массовой концентрации субмикронного аэрозоля) и результаты измерений с 1989 г. по 2005 г. в г. Москве массовой концентрации сажевого аэрозоля (и коэффициента поглощения). Рассчитаны спектры плотности мощности вариаций коэффициента рассеяния. Выявлены характерные временные масштабы вариаций.

Выполнены спектральные измерения поглощения света пробами аэрозоля, в том числе, при пожарах торфяников. Установлено, что в сельской местности спектры поглощения дымового аэрозоля заметно отличаются от спектров дымового аэрозоля в городе.

Обсуждается роль продуктов "полимеризации" изопрена как поглощающей субстанции в дымах торфяников.

Получены оценки радиационного форсинга аэрозоля и диоксида азота в воздушном бассейне г. Москвы. Радиационный форсинг диоксида азота оценивался по данным измерений на сети автоматических постов контроля качества атмосферного воздуха (Мосэкомониторинг).

Авторы благодарят А.Н. Рублева за помощь при выполнении расчетов радиационных характеристик и обсуждение результатов. Работа выполнена при частичной поддержке ISTC (проект № 3254).

Влияние аэрозоля космического происхождения на облачность, радиацию и климат Земли

Ермаков В.И.

Центральная аэрологическая обсерватория Росгидромета, ул. Первомайская 31, 41700 Долгопрудный, Московская область, Россия

Охлопков В.П.

НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова, Воробьевы горы, 117234 Москва, Россия

Стожков Ю.И. (stozhkov@fian.fiandns.mipt.ru)

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Ленинский пр. 53, 119991 Москва, Россия

По данным глобальной сети метеорологических станций в период с 1880 по 2005 гг. произошло потепление климата Земли на $\sim (0.8-1.0)^\circ\text{C}$. Причина потепления неизвестна. Некоторые ученые связывают произошедшее потепление с антропогенным влиянием, хотя, как известно, климат изменялся в течение всего времени существования Земли.

В этой работе доказывается, что на произошедшее в период 1880–2005 гг. потепление климата основное влияние оказывал космос. Из-за антропогенного влияния, которое особо усилилось в последнее десятилетие, глобальная температура увеличилась не более, чем на $(0.2-0.25)^\circ\text{C}$.

В работе показано, каким образом космос влияет на климат Земли. При годовом движении Земли вокруг Солнца, которое происходит внутри зодиакального пылевого облака, в ее атмосферу непрерывно поступает пыль космического происхождения. В процессе

оседания на поверхность Земли эта пыль участвует в образовании облачности (частицы пыли являются зародышами капель). Последняя хорошо отражает солнечную радиацию обратно в космос. По этой причине космическая пыль влияет на климат Земли.

Основными источниками космической пыли являются кометы, астероиды, метеорные потоки. Их пылеобразовательная деятельность с течением времени непрерывно изменяется, поэтому изменяются облачность, альbedo климатической системы и, соответственно, климат Земли.

В движениях комет, астероидов и метеорных потоков наблюдаются определенные периодичности. Эти периодичности каким-то образом должны проявляться и в вариациях земного климата.

Проведенный в работе спектральный анализ глобальных температурных данных за период 1880–2005 гг. показал наличие в них периодичностей, которые могут быть отождествлены с периодами метеорных потоков, комет и астероидов, а также планет, которые контролируют движение указанных объектов.

Результаты проведенного спектрального анализа использованы для прогноза изменений климата на ближайшие десятилетия. Из прогноза следует, что в ближайшее время будет наблюдаться похолодание. Как показывают наблюдения, оно уже началось.

Свойства аридного аэрозоля

Горчаков Г.И. (gengor@omega.ifaran.ru), Исаков А.А., Карпов А.В., Копейкин В.М.,
Ульяненко А.В.

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

Поступающий в атмосферу с подстилающей поверхности аридных и полуаридных регионов минеральный аэрозоль заметно влияет на радиационный режим атмосферы и климат планеты. С целью исследования свойств аридного аэрозоля летом 2005 г. в Калмыкии были выполнены измерения функции распределения частиц по размерам в диапазоне от 3 нм до 10 мкм, а также коэффициентов рассеяния и поглощения света. На опустыненной территории вблизи пос. Комсомольский проводились измерения микроструктуры грубодисперсного аэрозоля и характеристик ветропесчаного потока.

Измерения характеристик аэрозоля сопровождались измерениями турбулентных пульсаций компонент скорости ветра и температуры воздуха и электрических параметров приземного слоя атмосферы, включая напряженность электрического поля и концентрации положительных и отрицательных легких ионов.

Анализ данных измерений в Калмыкии и Приаралье позволил выделить распределение частиц по размерам для компоненты аэрозоля, генерируемой на подстилающей поверхности под воздействием ветропесчаного потока. Рассчитаны вертикальные турбулентные и вихревые потоки, а также скорости выноса с подстилающей поверхности субмикронного и грубодисперсного аэрозоля. Определены параметры вихрей и вихревых структур. Для Приаралья изучены статистические связи дифференциальных счетных концентраций аэрозоля с параметрами турбулентности и скоростью ветра.

Построена эмпирическая модель выноса с подстилающей поверхности субмикронного аэрозоля. Выполнено исследование конвективного вертикального переноса примесей, а также тепла и турбулентной кинетической энергии из нижней части приземного слоя атмосферы. Показано, что при квазирегулярной ячейковой конвекции вынос примесей из нижней части конвективного приземного слоя атмосферы осуществляется восходящими конвективными потоками.

Исследование процесса сальтации показало, что при генерации аэрозоля под воздействием ветропесчаного потока существенную роль могут играть электрические процессы. Впервые измерены квазигоризонтальные токи сальтации в ветропесчаном потоке. Данные измерений электрических токов сальтации удовлетворительно согласуются с

результатами измерений напряженности электрического поля на двух уровнях, а также с существующими данными о твердом расходе в ветропесчаном потоке и удельном заряде песчинок в основном слое сальтации.

Выполнены также измерения (на высоте 2 м) турбулентных потоков положительных и отрицательных легких ионов.

Полученные данные могут быть использованы при разработке моделей выноса минерального аэрозоля в атмосферу из аридных регионов.

Авторы благодарны В.И. Ермакову за участие в подготовке экспериментов. Работа выполнена при частичной поддержке Отделения наук о Земле (программа "Геофизика межгеосферных взаимодействий").

Исследования параметров атмосферного аэрозоля по данным Global Aerosol Climatology Project

Терез Э.И. (terez@ccssu.crimea.ua)

Крымская астрофизическая обсерватория, Научный, 98409 Крым, Украина

Геогджаев И., Мищенко М.

НАСА Годдард институт космических исследований, Колумбийский университет, Нью Йорк, США

Терез Г.А.

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

Гущин Г.К.

Карадагская научно-исследовательская геофизическая обсерватория, Курортное, Крым, Украина.

Используя базу данных Глобального аэрозольного климатического проекта (Global Aerosol Climatology Project – GACP) была выполнена научно-исследовательская работа по восстановлению аэрозольной оптической толщины (АОТ) и вычислению коэффициентов Ангстрема. Исследования имели целью проанализировать распределение величины атмосферных аэрозолей (пыли, морского аэрозоля, продуктов горения биомасс, антропогенного аэрозоля) по всему земному шару, а также проследить динамику временных изменений атмосферных аэрозолей. Было обнаружено, что количество аэрозолей больше, а сами аэрозольные частицы меньше над северной частью Атлантического океана вне побережья Европы и Северной Америки по сравнению с западным побережьем США. Это говорит о значительном влиянии антропогенного аэрозоля над тихоокеанским побережьем США. Самый низкий фоновый уровень морского аэрозоля зафиксирован в южной части Атлантического океана со среднесезонными величинами АОТ менее 0.1. Была проанализирована временная динамика изменений АОТ в регионах, подверженных влиянию пылевых потоков из Сахары и пустынь Азии, а также влиянию биомасс горения. В связи с увеличением индустриальной активности выявлено повышение уровня антропогенных аэрозолей в Восточно-Китайском море. Два различных периода обнаружено в аэрозольных временных сериях в Черноморском регионе. В первый период (до 1993 г.) величина атмосферных аэрозолей в этом регионе значительно превышала средние значения для северного полушария. Во втором периоде (после 1993 г.) количество аэрозолей значительно снизилось, что связано с уменьшением индустриальных выбросов в этом регионе.

Сезонно-широтное распространение аэрозольных слоев, формируемых под действием гравитофотофореза

Черемисин А.А. (cher@akadem.ru), Шнипов И.С. (unesco@kstu.ru)

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

Васильев Ю.В. (ygrab@online.ru)

Физико-технический НИИ при Красноярском гос. университете, Академгородок 13/а, а/я 8678660036, Красноярск, Россия

Согласно нашим исследованиям [1], гравитофотофоретические силы могут поддерживать в стратосфере и мезосфере аэрозольные слои на высотах около 20, 50, 70 км [2], а также на 80–83 км в полярной летней мезосфере. Эти результаты получены при использовании стандартной атмосферы и простой модели ИК излучения Земли.

Ранее также были проведены исследования сезонно-широтной изменчивости аэрозольных слоев, которые могут поддерживаться гравитофотофоретическими силами. Гравитофотофоретическая сила зависит от перепада значений аккомодационного коэффициента по поверхности частицы, от размера частицы и ее оптических свойств, от температуры и давления атмосферы, а также от потоков падающего солнечного излучения и уходящего ИК излучения Земли. Вследствие этого, для заданной частицы на заданной высоте сила зависит от ее географических координат и от времени года. Сезонно-широтная изменчивость атмосферных параметров учитывалась в рамках европейской модели. Потоки уходящего ИК излучения Земли рассчитывались на основе решения уравнений переноса при использовании модели Института Оптики Атмосферы СО РАН. Данная работа является развитием этих исследований.

В докладе представлены результаты более детальных и уточненных расчетов сезонно-широтной распространенности аэрозольных слоев, поддерживаемых гравитофотофоретическими силами. В расчетах использовались экспериментальные спутниковые данные по уходящему ИК излучению Земли [3]. Согласно расчетам, гравитофотофоретическими силами могут поддерживаться слои на 20 км в экваториальной области, глобальные слои на 50 и 70 км, слои на 80–83 км в полярной летней мезосфере, а также слои в зимней стратосфере на высотах, соответствующих наблюдениям полярных стратосферных облаков. Таким образом, гравитофотофоретические силы могут поддерживать аэрозольные слои на высотах, соответствующих наблюдаемым слоям в стратосфере и мезосфере Земли.

Работа поддержана грантом РФФИ 04-05-64390а.

1. Cheremisin A.A., Vassilyev Yu.V., Horvath H. Gravito-photophoresis and aerosol stratification in the atmosphere. *J. Aerosol Sci.*, 2005, **36**, 11, 1277–1299.
2. Cheremisin Aleksander, Granitskii Lev, Myasnikov Vladimir, Vetchinkin Nikolaj. Improved aerosol scattering in the upper atmosphere according to data of ultraviolet observations from space, with instrumental smoothing taken into account. *Proc. SPIE*, 2000, **4341**, 383–389.
3. <http://badc.nerc.ac.uk>

О спектральной зависимости и сезонной изменчивости аэрозольной оптической толщины атмосферы в районе Томска

Сакерин С.М. (sms@iao.ru), Кабанов Д.М.

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

Большинство измерений аэрозольной оптической толщины (АОТ) проведено в относительно узком диапазоне спектра 0.34–1 мкм, где влияние аэрозоля на радиационные процессы более значимо в сравнении с молекулярным поглощением. Необходимость уточнения климатической роли атмосферного аэрозоля требует получения информации не только в различных регионах, но и в более широком спектральном диапазоне приходящей

радиации. В докладе обсуждаются спектральные зависимости АОТ в диапазоне спектра 0.37–4 мкм, основанные на многолетних наблюдениях в районе Томска.

Отмечается, что средние зависимости АОТ в коротковолновой области для различных сезонов и атмосферных ситуаций хорошо описываются формулой Ангстрема. Во взаимосвязи параметров формулы Ангстрема α и β просматривается тенденция снижения α по мере увеличения β (коэффициент корреляции – 0.46). То есть, показатель селективности α частично зависит от β или от содержания крупных частиц. Максимальная селективность АОТ ($\alpha = 1.73$) характерна для ситуаций лесных пожаров, а минимальные наблюдались после извержения в. Пинатубо ($\alpha = 0.87$). В поствулканический период средняя АОТ (0.55 мкм) варьировала в диапазоне 0.08–0.15 с тенденцией небольшого роста в последние 5 лет. В изменчивости показателя α сначала наблюдался спад с минимумом в 1996 г., а затем стабилизация на уровне ~ 1.5 . В сезонной изменчивости наиболее контрастно отличается АОТ осенью от весны и зимы. Кроме того, в разные сезоны есть индивидуальные особенности значений α и β : 1) для зимы характерны минимальные значения показателя α и одновременно большие β ; 2) весна отличается максимальной селективностью АОТ, а параметр β практически такой же, как зимой; 3) средний летний спектр АОТ занимает промежуточное положение благодаря максимальным α при относительно небольшой величине β ; 4) осенью β минимальная, а показатель α близок к среднегодовым значениям. Среди различных атмосферных ситуаций, наиболее выделяются характеристики АОТ во время лесных пожаров. В дымах лесных пожаров значительно увеличивается не только показатель селективности α (и концентрация мелких частиц), но и параметр β , зависящий от содержания грубодисперсного аэрозоля.

Средняя зависимость АОТ в расширенном диапазоне спектра (0.37–4 мкм) имеет гладкий вид – степенной спад постепенно переходит (на участке 0.8–1.5 мкм) в нейтральный ход со средним значением 0.05. Для оценки сезонных различий приводятся средние значения АОТ в диапазоне 1.2–4 мкм: максимальный уровень наблюдается в ситуациях лесных пожаров и в весенне-зимний период, а минимальный – осенью; летом АОТ имеют промежуточные значения с тенденцией увеличения к 4 мкм. Средняя величина "межволновых" отклонений АОТ в длинноволновом диапазоне около 0.02. Для более детальной оценки спектрального хода рассматриваются разности АОТ в двух участках: 1–2.2 мкм и 2.2–4 мкм. Показывается, что на первом участке разность обычно положительная, то есть наблюдается спад АОТ со среднегодовой величиной 0.01. На участке 2.2–4 мкм среднегодовая зависимость АОТ нейтральная, но есть отличия холодного периода от теплого. С мая по октябрь в среднем наблюдается небольшой рост АОТ к 4 мкм, а в холодный период – спад АОТ такой же величиной как на участке до 2.2 мкм. Отмечается малое отличие параметра β от средних значений АОТ в длинноволновом диапазоне спектра и наличие между ними тесной линейной взаимосвязи.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 05-05-64410 и интеграционного проекта СО РАН № 3.23.

Ослабление и поглощение оптического излучения облачной кристаллической средой

Петрушин А.Г. (las@typhoon.obninsk.ru)

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

В работе представлены результаты расчетов индикатрисы рассеяния излучения $P(\theta)/4\pi$, среднего косинуса рассеяния индикатрисы рассеяния излучения μ , факторов эффективности (сечений) ослабления $K_{ex}(C_{ex})$, рассеяния $K_{sc}(C_{sc})$ и поглощения $K_a(C_a)$ и альбеда однократного рассеяния Λ ледяными гексагональными призмами в диапазоне длин волн $\Delta\lambda$ 0.63–12.0 мкм оптического излучения как отдельными ледяными гексагональными призмами

(столбиками и пластинками), так и системами ледяных кристаллов, соответствующих предложенным ранее нами моделям микроструктуры кристаллической и смешанной облачной среды, содержащей указанные частицы. Вычисления указанных оптических характеристик были проведены с использованием разработанных методик расчета [1–3]. Степень вытянутости призмы характеризовалась так называемым фактором формы призмы c (отношение ее длины к диаметру основания). В зависимости от возможной величины c рассмотрены два случая ориентации призм в пространстве – хаотическая ориентация осей призм в пространстве и произвольная ориентация плоскостей основания пластинок и главных осей длинных призм в горизонтальной плоскости [3]. Значения комплексного показателя преломления оптического излучения льдом m_i были взяты из работы [4], размеры призм и их возможные значения c соответствовали размерам и факторам формы ледяных кристаллов в облаках ($0.1 \leq c \leq 10.0$, $10 \text{ мкм} \leq a \leq 100 \text{ мкм}$, a – радиус основания призмы) [1].

Для выбранных длин волн в полосах поглощения льда около 2.0 и 10.0 мкм продолжено изучение поведения K_{ex} , K_{sc} , K_a и Λ одиночными ледяными призмами при заданных размерах и факторах формы в зависимости от поворота их относительно своих главных осей (угол β) и ориентации этих осей относительно направления распространения падающего излучения (угол α). Было показано, что для рассматриваемых размеров призм наиболее значимая зависимость K_{ex} , K_{sc} , K_a и Λ от β наблюдается в полосе поглощения льда около 2.0 мкм, а зависимость этих величин от α для рассматриваемого диапазона $\Delta\lambda$ в основном определяется размерами призм и величиной c .

При разных параметрах микроструктуры смешанных облаков, соответствующих их различной температуре, получены значения $P(\theta)/4\pi$ для отдельных длин волн. Исследованные изменчивости самой индикатрисы рассеяния и связанного с ней среднего косинуса рассеяния индикатрисы рассеяния излучения μ в полосах поглощения льда показывают необходимость их учета при проведении расчетов радиационных характеристик смешанных облаков. Для отдельных длин волн в полосах поглощения льда и вне их выполнена параметризация μ и C_{ex} , C_{sc} , C_a смешанной облачной средой в зависимости от температуры последней с целью использования их в различных радиационных и климатических моделях.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований, грант 03-05-64793.

1. Петрушин А.Г. Рассеяние и поглощение оптического излучения в кристаллической облачной среде. *Вопросы физики облаков*. Ред. Семенов Л.П. Санкт-Петербург, Гидрометеиздат, 1998, 118–149.
2. Petrushin A.G. Parameterization of basic optical radiation scattering properties of ice crystal particles. *Proceedings of SPIE*, 2004, **5829**, 138–150.
3. Petrushin A.G. Main optical characteristics of light scattering by mixed clouds. *Izv., Atmospheric and Ocean Physics*, 2001, **37**, Suppl. 1, s149–s156.
4. Warren S.G. Optical constants of ice from ultraviolet to the microwave. *Appl. Opt.*, 1984, **23**, 8, 1206–1225.

Внутригодовая изменчивость оптических постоянных приземного аэрозоля

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

Комплексный показатель преломления является одним из важнейших параметров, определяющих рассеивающие и поглощающие свойства атмосферного аэрозоля, и знание его сезонной изменчивости дает дополнительную информацию о качественной трансформации свойств частиц в течение года. Однако попытки его расчета на основе данных химического анализа аэрозольного вещества приводят к практически непредсказуемым ошибкам в оценке оптических параметров. Более адекватным для радиационных задач подходом является его оценка непосредственно из данных оптических измерений.

На Аэрозольной станции ИОА СО РАН в течение ряда лет ведутся систематические измерения коэффициентов направленного светорассеяния и степени линейной поляризации в видимой области спектра. Применение осушки и последующего искусственного увлажнения позволило получить как характеристики сухой основы аэрозоля (при практически нулевой относительной влажности), так и их значения *in situ* с учетом реальной конденсационной активности аэрозольных частиц.

Распределения частиц субмикронной фракции аэрозоля по размерам и показатели преломления вещества аэрозоля определялись путем обращения нефелометрических данных с использованием итерационного алгоритма. Следует заметить, что применяемый способ не позволяет надежно определять отдельно действительную и мнимую части показателя преломления, а только их комбинацию. Для устранения неопределенности в оценке n и k были привлечены данные параллельных измерений массовой концентрации поглощающего вещества в аэрозольных частицах.

По результатам исследований описан годовой ход действительной и мнимой части показателя преломления в 2005 г.

Метеоперенос и лидарные наблюдения полярных стратосферных облаков над г. Якутском зимой 2004-2005 г.

Черемисин А.А. (cher@akadem.ru), Кушнаренко А.В. (kushnarenko@sitall.com)
Красноярский государственный технический университет, ул. Киренского 26, 660074 Красноярск, Россия

Маричев В.Н. (marichev@iao.ru)
Институт оптики атмосферы СО РАН, пр. Академический 1, 634055 Томск, Россия

Николашкин С.В. (nikolashkin@ikfia.ysn.ru)
Институт космических исследований и астрономии СО РАН им. Ю.Г. Шафера, 677891 г. Якутск, Россия

Новиков П.В. (novikov-pv@yandex.ru)
Филиал ГОУ ВПО Иркутский гос. университет путей сообщения, 660028 г. Красноярск, Россия

На вновь созданной лидарной стратосферной станции в г. Якутске начаты регулярные наблюдения полярных стратосферных облаков (ПСО). Согласно лидарным измерениям зимой 2004–2005 гг., там достаточно часто появлялись сильные аэрозольные слои в нижней стратосфере, которые эпизодически удавалось визуально наблюдать как перламутровые облака. В ноябре 2004 г. ПСО наблюдались при температурах стратосферы, которые были значительно выше тех, при которых ожидается конденсация частиц ПСО.

Ретроспективный анализ траекторий воздушных масс, прошедших над Якутском одновременно на различных высотах в дни наблюдения ПСО, выявил, что облака могли образоваться вблизи Норвежского моря на высотах около 18–21 км, где стратосфера была наиболее холодной, и затем за 4–5 суток ветром перенесены в г. Якутск. Но, следует отметить, что согласно спутниковым данным температура в стратосфере в это время была выше 200 К.

Работа поддержана грантом РФФИ 04-05-64390а.

Оптические свойства обводненных сажевых частиц

Михайлов Е.Ф. (Eugene.Mikhailov@paloma.spbu.ru), Власенко С.С.
Научно-исследовательский институт физики им. В.А. Фока СПбГУ, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Хотя углеродсодержащие аэродисперсные частицы вносят наибольший вклад в аэрозольное поглощение радиации в атмосфере, их сечения поглощения известны с достаточно большой неопределенностью, обусловленной прежде всего различием

морфологии и физико-химических свойств углеродсодержащих аэрозолей. Однако во влажной атмосфере ключевым фактором указанной неопределенности является гигроскопичность сажевого аэрозоля, за счет которой оптические свойства частиц могут кардинально измениться. Теоретические расчеты предсказывают увеличение поглощения радиации поглощающей частицей, окруженной непоглощающей оболочкой, но вопрос о том, насколько подобные ситуации характерны для атмосферы, остается пока открытым. В данной работе представлены результаты лабораторного эксперимента, нацеленного на моделирование процессов взаимодействия сажевого аэрозоля с водяным паром и изучение связанных с этим взаимодействием оптических эффектов.

Показано, что гидрофобные сажевые частицы практически не взаимодействуют с водяным паром даже в условиях 100% влажности, соответственно не претерпевают каких-либо структурных изменений и не демонстрируют какой-либо заметной зависимости оптических свойств от относительной влажности. Напротив, гидрофильные сажевые частицы с ростом относительной влажности существенно изменяют свою структуру, формируя вместо разреженных фракталоподобных агрегатов плотноупакованные глобулы. Наблюдаемый реструктуринг обусловлен обводнением сажевых частиц за счет конденсации водяного пара. При этом толщина водной оболочки зависит от влажности воздуха и химического состава аэрозолей (количества гигроскопических органических веществ в частице). Естественно, что оптические свойства обводненных частиц сильно изменяются, что проявляется не только в резком увеличении сечения рассеяния, но и в заметном росте сечения поглощения. В частности, согласно данным измерений ($\lambda = 634$ нм) при толщине водной оболочки, превышающей размер сажевого ядра в 4 раза, фактор роста коэффициентов рассеяния и поглощения (по сравнению с сухими частицами) составляет соответственно 34 ± 5 и 3.5 ± 1.0 . Полученные данные могут быть использованы для уточнения климатического эффекта дымового аэрозоля.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 06-05-65155-а "Экспериментальные исследования влияния углеродсодержащего аэрозоля на оптические свойства облачных капель".

Зависимость оптических характеристик облаков различного происхождения от водности и размера частиц

Шатунова М.В. (shatunova@mecom.ru), Дмитриева-Аппаро Л.П. (dmitrieva@mecom.ru)

Гидрометцентр России, Большой Предтеченский 9-13, 123242 Москва, Россия

Парфенова Н.К.

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

Mir Rokni S.M.

Department of Physics, Yazd University, 'Yazd', Iran, P.O.B. 89195-741

Пространственная неоднородность распределения водности и радиусов частиц облаков связана с условиями их формирования, характером подстилающей поверхности, создающей определенный тип ядер конденсации, уровнем расположения в атмосфере и фазовым составом. Интервал измерения водности составляет приблизительно $0.03\text{--}0.5$ г/м³, радиусы частиц облаков в основном лежат в интервале 1–150 мкм в зависимости от фазового состава.

Алгоритм вычисления оптических свойств облаков основан на упрощенных формулах теории Ми, требующих информации о водности облака и среднем радиусе частиц. Численные эксперименты показали, что уменьшение радиусов капель в капельных облаках от 11 мкм до 7 мкм приводит к увеличению альбедо на 20–30% и к уменьшению пропускания в тех же пределах при водности более 0.2 г/м³. При малых водностях альбедо и пропускание облаков могут меняться до 2-ух раз в зависимости от радиусов частиц облака и фазового состава. Поглощение в облаке в основном определяется водностью облака и мало

зависит от размера частиц. Рассчитанные значения альбедо удовлетворительно согласуются с данными самолетных и спутниковых наблюдений.

Статистика балла облачности над г. Томском по данным наземных наблюдений 1993–2004 гг.

Журавлева Т.Б. (ztb@iao.ru), Рассказчикова Т.М., Складнева Т.К.

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

Смирнов С.В.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия

Известно, что облака играют важную роль в трансформировании солнечного и теплового излучения в атмосфере Земли. Однако современные модели предсказания погоды и климата используют параметризации облачности, которые пока далеки от совершенства. Одним из источников данных, необходимых для улучшения представления облаков в моделях, являются результаты наземных наблюдений за облачностью, которые позволяют осуществлять валидацию спутниковых данных и более адекватно описывать особенности *регионального* распределения облачности. В данной работе представлены данные *дневных* наземных наблюдений за состоянием облачности (балл общей облачности N_{tot} и балл облаков нижнего яруса N_{low}) над г. Томском, полученные в Сибирской климатической и экологической обсерватории Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (56.5 с.ш., 84.92 в.д.).

Анализ *межгодовой* изменчивости показал, что в течение 1993–2004 гг. наблюдается слабый положительный тренд общей облачности и более значительное возрастание облаков нижнего яруса; среднее значение N_{tot} и N_{low} составили за этот период 8 и 3.6 баллов соответственно. Отметим, что по сравнению с данными многолетних наземных наблюдений в 1936–1965 гг. [1] вероятность наличия пасмурной погоды ($N_{\text{tot}} = 8–10$) осталась наибольшей, тогда как количество ясных дней снизилось, особенно в зимние месяцы (примерно на 20%). Повторяемость облачных дней ($N_{\text{tot}} = 3–7$) увеличилась, годовой ход (с максимумом в летние месяцы) сохранился. Наблюдаемая тенденция к увеличению количества облаков соответствует данным, полученным для некоторых других регионов России: в частности, результатам, полученным в Метеорологической обсерватории МГУ, находящейся почти на той же широте, что и г. Томск [2].

Среднемесячный балл облачности по данным одиннадцатилетних наблюдений варьировался следующим образом. Наибольший балл общей облачности наблюдался в осенне-зимние месяцы с максимум в ноябре – 8.7 балла; в годовом ходе N_{tot} имеются 2 минимума: в марте и июле – 7.3 балла. Локальные максимумы N_{low} были зафиксированы в июле – 3.7 и октябре – 5.1; минимальное значение балла облачности наблюдалось в марте – 2.4 балла. Привлечение к анализу данных о синоптическом режиме над г. Томском показало, что достаточно хорошо выраженный годовой ход облачности наилучшим образом согласуется с сезонным изменением расположения планетарных фронтальных зон.

В работе представлено сравнение среднемесячного балла общей облачности с данными, полученными на основе измерений спутникового сканера MODIS (Modis/Terra Atmosphere Monthly Global Product; пространственное разрешение 1.1 градус) в течение 2000–2004 г. (Спутниковые данные относительно балла облачности $N_{\text{tot}}(0)$ приводились к данным наземных измерений на основе соотношений, предложенных Ю.-А.Р. Мулламаа).

В докладе рассматриваются также данные многолетних наблюдений продолжительности солнечного сияния (ПСС) над г. Томском. Хотя в целом за период наблюдений с 1958 г. ПСС имеет положительный тренд, в 1993–2004 гг. наблюдается тенденция к значительному уменьшению продолжительности солнечного сияния. Кроме

того, в рассматриваемый период отмечается существенная антикорреляционная связь между ПСС и баллом облачности нижнего яруса.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант 06-05-64484).

1. *Справочник по климату СССР*, вып. 20, 5 часть. Облачность и атмосферные явления. Л.: Гидрометеиздат, 1970, 323 с.
2. Абакумова Г.М. Тенденции многолетних изменений прозрачности атмосферы, облачности, солнечной радиации и альbedo подстилающей поверхности в г. Москве. *Метеорология и Гидрология*, 2000, 9, 51–62.

Влияние влажности воздуха на элементы матрицы рассеяния радиально-неоднородными частицами аэрозоля

Кокорин А.М. (kokorin@ioras.nw.ru)

СПб филиал Института океанологии РАН, 1 линия 30, 199053 Санкт-Петербург, Россия

В работе теоретически анализируется влияние внутренней структуры частиц морского аэрозоля на элементы f_{33} и f_{43} приведенной матрицы рассеяния (EMS). Вопрос о поведении этих характеристик рассеяния важен для задач атмосферной оптики и некоторых технических приложений. Анализ выполнен в приближении полидисперсных систем частиц (ПСЧ) (обратно-степенного распределения частиц по размерам), просветленных (ПС), двухслойных (ДС) и однородных (ОС) сфер в диапазоне размеров и оптических констант, характерных для частиц аэрозоля прибрежного морского аэрозоля. Модель ПС представляет собой двухслойную сферическую частицу с однородным непоглощающим ядром и степенным профилем показателя преломления неоднородной оболочки [1, 2]. Частицы типа ПС (например, ядра конденсации в стадии обводнения) часто встречаются в атмосфере, вместе с тем влияние их на оптические свойства аэрозоля мало изучено. В работе рассматривается два возможных механизма обводнения ансамбля аэрозольных частиц во влажной атмосфере: а) равномерное набухание всего объема частиц с уменьшением показателя преломления и увеличением размеров частиц (модель ОС); б) укрупнение частиц с частичным растворением первоначально сухого ядра (модели ПС и ДС).

Результаты численного моделирования характеристик EMS проанализированы для различных фракций прибрежного морского аэрозоля (при изменении относительной влажности в диапазоне от 10% до 95%). Показано, что для отдельных диапазонов углов рассеяния характеристики f_{33} и f_{43} модели ПС очень чувствительны к механизму обводнения частиц аэрозоля. Они не могут быть аппроксимированы с помощью модели однородных или двухслойных частиц со средним по объему показателем преломления.

На примере фракций аэрозольных частиц, моделируемых с помощью полидисперсных систем ПС, ДС и ОС (с параметрами распределения $a_{\min} = 0.05$, $a_{\max} = 8 \text{ nm}$ и n от 1 до 4 с шагом 0.1), рассмотрены характерные закономерности трансформации характеристик EMS при изменении относительной влажности воздуха.

Показано, что различие характеристик f_{33} и f_{43} этих моделей для отдельных диапазонов углов рассеяния существенным образом зависит от механизма обводнения гигроскопичных частиц и их микроструктурных характеристик. Выявлены диапазоны углов рассеяния, в которых эти различия достигают наибольших значений. Так, например, неучет радиальной неоднородной структуры частиц реального аэрозоля, моделируемых ПС, при оценке характеристики f_{33} в диапазоне углов рассеяния 135–1700 реальных аэрозольных частиц с помощью модели ДС, может привести к существенным погрешностям (более 100%). Угловые характеристики элемента f_{43} для рассматриваемых моделей частиц также имеют значительные количественные и качественные различия.

1. Кокорин А.М., Шифрин К.С. Влияние влажности на локационное рассеяние ансамбля малых гигроскопичных неоднородных частиц. *Оптический журнал*, 2003, **70**, 5, 62–67.
2. Кокорин А.М.. Влияние влажности на показатель и коэффициент асимметрии индикатрисы рассеяния света радиально-неоднородными частицами аэрозоля в пограничном слое над морем. *Оптический журнал*, 2005, **72**, 2, 14–18.

Суточный ход характеристик субмикронного аэрозоля в координатах высоты Солнца

Козлов В.С. (vkozlov@iao.ru), Панченко М.В., Яушева Е.П.

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

Понимание "аэрозольной погоды" невозможно без детального анализа временной изменчивости оптических и микрофизических характеристик аэрозоля. Одним из наиболее динамичных процессов в изменчивости аэрозольных характеристик в приземном слое атмосферы является суточный ход. Именно поэтому практически во всех работах, которые связаны с анализом временных рядов, суточному ходу уделяется большое внимание.

Для корректной параметризации суточного хода, с одной стороны, необходим большой массив данных. С другой стороны, сильная пространственно-временная изменчивость свойств аэрозольных частиц определяет и большой разброс значений при попытках выделения среднего суточного хода на фоне всего многообразия процессов.

С 1997 г. нами в приземном слое атмосферы проводятся круглосуточные измерения коэффициента рассеяния сухой основы субмикронного аэрозоля (длина волны 0.52 мкм) и массовой концентрации поглощающего вещества (Black Carbon) ([Internet http://aerosol1.iao.ru](http://aerosol1.iao.ru)).

На основе данных 9 лет наблюдений в работе анализируется суточный ход массовой концентрации сухого субмикронного аэрозоля и массы поглощающего вещества (BC) для разных сезонов года. Для выделения суточного хода нами использованы два основных методических приема.

Для того, чтобы снизить влияние межсуточной изменчивости концентрации аэрозоля и спорадического воздействия локальных источников, внутри каждого суток измеренное значение исследуемой характеристики нормируется на ее среднесуточное значение.

В результате анализа полученных данных в часовых координатах было выяснено, что при радиационном типе погоды типичная форма суточного хода одинакова для всех сезонов года и содержит два максимума – утренний, вечерне-ночной, и два минимума – ночной, дневной. В других погодных условиях (облачность, осадки, дымы лесных пожаров и др.) особенности формы суточного хода нивелируются. Положения максимумов на суточных ходах сравнительно устойчивы внутри сезонов, а их межсезонная изменчивость проявляется в сближении максимумов в зимний период года (11 и 20 часов) и в их взаимном удалении в летний период (8 и 22–23 часа). Такая сезонная динамика естественно согласуется с характерными сезонными изменениями продолжительности дневной инсоляции.

Воздействие солнечной радиации на аэрозоль может быть как прямым (фотохимическая генерация частиц и их вторичная эмиссия с поверхности и растительности), так и косвенным – через изменение температурной стратификации пограничного слоя атмосферы и интенсивности процессов вертикального обмена. В нашем случае применение нормированных на свое среднесуточное значение характеристик в определенной степени снижает зависимость анализируемых внутрисуточных реализаций от межсуточной изменчивости интенсивности радиации. В тоже время понятно, что внутри каждого из сезонов года продолжительность дня меняется существенно. Отсюда очевидно, что осреднение данных измерений с использованием только разбиения по часам может приводить к размытию характерных особенностей суточного хода.

В настоящей работе изучается возможность применения нового методического приема к описанию суточной динамики аэрозольных характеристик в зависимости от параметра, непосредственно связанного с солнечной радиацией. В качестве такого параметра рассматривается угол подъема (высота) солнца над горизонтом, нормированная на ее максимальное значение.

Для массивов данных в работе анализируются среднесезонные суточные ходы нормированных значений концентраций аэрозоля и BC в зависимости от нормированной высоты солнца. Полученные результаты показали, что используемый параметр эффективен

при анализе структуры суточного хода и позволяет осуществить его более корректную параметризацию.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ № 06–05–64393.

Моделирование радиационного форсинга фоновго аэрозоля с использованием данных радиационных измерений на Звенигородской научной станции ИФА РАН (март–май 2004)

Горчакова И.А. (gengor@ifaran.ru), Тарасова Т.А., Свириденков М.А., Аникин П.П.,
Ромашова Е.В.

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

Коротковолновый аэрозольный радиационный форсинг (АФР) рассчитывается как разница между потоками солнечного излучения на поверхности Земли или на верхней границе атмосферы, полученными с учетом и без учета влияния аэрозоля на перенос излучения. Величина АРФ характеризует влияние аэрозольных частиц на радиационный баланс атмосферы и климат Земли. В настоящей работе данные комплексных систематических измерений на Звенигородской Научной Станции Института Физики Атмосферы имени А.М. Обухова Российской Академии Наук с марта по май 2004 года используются для определения величины радиационного форсинга фоновго аэрозоля в безоблачных условиях и для оценок чувствительности АРФ к оптическим параметрам аэрозоля и альбедо поверхности. Фоновый аэрозоль на ЗНС характеризуется оптической толщиной 0.10–0.15. Он существенно слабее влияет на потоки солнечного излучения, чем, например, дымовой аэрозоль, радиационные свойства которого были исследованы в [1]. Тем не менее, изучение фоновго аэрозоля представляет интерес, так как он постоянно присутствует в атмосфере и поэтому оказывает заметное влияние на радиационный баланс атмосферы и поверхности.

На ЗНС ИФА РАН с 2001 года проводятся комплексные систематические измерения приходящих к поверхности Земли потоков солнечной и тепловой радиации, спектральной прозрачности атмосферы, спектральных потоков рассеянного и прямого излучения в диапазоне длин волн 414.5 – 868.8 нм и наземных метеорологических параметров атмосферы. В настоящей работе были отобраны безоблачные периоды наблюдения с марта по май 2004 года. Для них с помощью методик, описанных в [2], были восстановлены из радиационных измерений оптическая толщина и альбедо однократного рассеяния аэрозоля для нескольких длин волн видимого излучения, а также параметр Ангстрема. Эти параметры были использованы в полуэмпирической модели аэрозоля (ПЭМ) для расчета интегральных потоков солнечного излучения по методике [3]. Эти же параметры аэрозоля были использованы для подбора соотношения концентраций трех фракций аэрозольных частиц, предложенных в [1] для моделирования микрофизических характеристик как фоновго так и дымового аэрозоля на ЗНС. Рассчитанные с помощью теории Ми оптические параметры аэрозоля для этих фракций используются для расчетов интегральных потоков солнечного излучения по методике BRTC, описанной в [1]. В видимой области спектра они соответствуют параметрам, восстановленным из измерений.

Для каждого периода наблюдений были рассчитаны интегральные потоки солнечного излучения на поверхности и верхней границе атмосферы по двум методикам, и проанализированы расхождения между измеренными и рассчитанными потоками на поверхности. Показано, что погрешности расчетов, определяемые выбором оптической модели фоновго аэрозоля сравнимы с погрешностями измерений. В результате проведенного анализа чувствительности АРФ к оптическим параметрам аэрозоля и альбедо поверхности в безоблачной ситуации получено, что основным параметром, влияющим на величину радиационного форсинга фоновго аэрозоля, является аэрозольная оптическая толщина. На величину АРФ на верхней границе атмосферы оказывает существенное влияние

и альбедо поверхности. Полученные нами количественные оценки АРФ согласуются с соответствующими оценками, полученными в [4] из радиационных измерений со спутников, и могут быть использованы для валидации спутниковых измерений.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 04-05-64579, № 05-05- 65038).

1. Тарасова Т.А., Горчакова И.А., Свириденков М.А., Аникин П.П., Ромашова Е.В. Оценка величины коротковолнового радиационного форсинга дымового аэрозоля с использованием данных радиационных измерений на ЗНС с мая по сентябрь 2002 года. *Изв. РАН. ФАО*, 2004, **40**, 4, 514–524.
2. Anikin P., Sviridenkov M., Romashova E. Estimation of the aerosol single scattering albedo over ZSS from MFRSR data. *Proceeding of the Twelfth ARM Science Team Meeting*. Saint Petersburg. Florida. <http://www.arm.gov/docs/documents/tecnical/conf0204/Anikin-P.PDF>.
3. Горчакова И.А. Параметризация интегральных потоков солнечного излучения. *Изв. РАН. ФАО*, 2000, **36**, 3, 376–386.
4. Yu H., Y.J. Kaufman, M. Chin et al. A Review of Measurement-based Assessment of Aerosol Direct Radiative Effect and Forcing. *Atmosph. Chemistry and Physics Discussions*, 2005, 5, 7647–7768.

Взаимосвязь аэрозольной оптической толщины атмосферы в ИК диапазоне с параметрами формулы Ангстрема

Сакерин С.М. (sms@iao.ru), Кабанов Д.М.

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

В докладе обсуждаются взаимосвязи параметров формулы Ангстрема α , β и аэрозольной оптической толщины (АОТ) атмосферы в ИК диапазоне, которые были выявлены при анализе спектральных зависимостей $\tau(\lambda)$ [1]. Анализ взаимосвязей проводится по результатам многолетних наблюдений спектральной прозрачности атмосферы в районе Томска: массив данных за 1995–2005 гг. в диапазоне спектра 0.37–1.06 мкм и за менее продолжительный период (2001–2005) в области спектра 0.37–4 мкм. Исследование данного вопроса показало следующее.

1. Сопоставление параметра β и τ_c , полученных в различных атмосферных условиях, выявило их малое отличие. Из этого факта следует, что величина β или АОТ в области ~1 мкм в основном определяются концентрацией грубодисперсного аэрозоля. Кроме того, наличие тесной взаимосвязи β и τ_c (коэффициент корреляции для общего массива данных 0.85) дало основание предложить простые формулы определения среднего уровня АОТ в длинноволновом диапазоне по параметру β , то есть, по результатам измерений АОТ в традиционном диапазоне спектра 0.4–1 мкм. Приводятся результаты сравнения рассчитанных значений $\tau_c(\beta)$ и реально измеренных в ИК диапазоне, а также погрешности оценки τ_c для различных атмосферных ситуаций (сезоны, дымы лесных пожаров).

2. Нетрудно показать, что второй параметр формулы Ангстрема – показатель селективности α , зависит от характеристик мелкодисперсного аэрозоля (диаметром менее ~1 мкм), а также от соотношения оптических вкладов в ослабление радиации мелко- и грубодисперсного аэрозоля: $\alpha \approx \ln[1 + (\tau_f / \tau_c)] / \ln \lambda$. Такая трактовка подтверждается анализом диаграмм рассеяния (α , β) как для общего массива данных, так и для отдельных классов ситуаций. Во взаимосвязи двух параметров видна тенденция уменьшения показателя α при росте параметра β (коэффициент корреляции для общего массива – 0.46): максимальные α (до 2.5) наблюдаются при $\beta < 0.02$, а при $\beta > 0.16$ показатель α не превышает единицы. Изменение содержания грубодисперсного аэрозоля (соответственно, величины τ_c и β) при постоянных характеристиках мелкодисперсной составляющей АОТ приводит к соответствующему изменению показателя α .

3. Известно, что $\tau(\lambda)$ в области спектра ~1.5–4 мкм имеет практически нейтральный спектральный ход и определяется содержанием крупных частиц. Поэтому $\tau(\lambda)$ в коротковолновом диапазоне ($\lambda < 1$ мкм) можно представить в виде суммы двух компонент –

селективной мелкодисперсной $\tau_f(\lambda)$ и грубодисперсной τ_c , в качестве которой может использоваться средняя величина АОТ в "окнах прозрачности" атмосферы в области спектра 1.2–4 мкм. Значение τ_c нетрудно рассчитать по параметру β (см. п. 1). Следовательно, появляется возможность выделить отдельные составляющие АОТ атмосферы и коротковолновую описать в виде зависимости аналогичной формуле Ангстрема:

$$\tau(\lambda) = \beta \cdot \lambda^{-\alpha} = \tau_f(\lambda) + \tau_c \approx \beta^* \cdot \lambda^{-\alpha^*} + \tau_c(\beta).$$

Подчеркнем, что β^* и α^* уже не зависят от τ_c и характеризуют только $\tau_f(\lambda)$ – ослабление радиации мелкими частицами в области размеров аккумулятивной фракции. Таким образом, имея данные АОТ только в коротковолновой части спектра (~0.4–1 мкм) можно получить индивидуальные характеристики двух фракций аэрозоля достаточные для последующей оценки содержания мелко- и грубодисперсного аэрозоля.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 05-05-64410.

1. Сакерин С.М., Кабанов Д.М. О спектральной зависимости и сезонной изменчивости аэрозольной оптической толщины атмосферы в районе Томска. (см. настоящий Сборник).

О силовых механизмах вертикального переноса стратосферного аэрозоля

Береснев С.А. (sergey.beresnev@usu.ru), Кочнева Л.Б., Грязин В.И.

Уральский государственный университет, пр. Ленина 51, 620083 Екатеринбург, Россия

Наблюдаемое присутствие сажевого аэрозоля на высотах 20–25 км от двигателей авиационного транспорта и образованного в других процессах горения органического вещества требует анализа и обоснования механизмов вертикального переноса частиц против силы тяжести в термически устойчивой стратосфере. Одним из возможных регулярных механизмов вертикального переноса частиц может являться радиометрический фотофорез. Разработанная теория атмосферного фотофореза предсказывает, что для определенных типов сажевого аэрозоля так называемый отрицательный "солнечный" фотофорез может приводить к левитации и вертикальному подъему субмикронных изометрических частиц на высотах нижней и средней стратосферы. Аналогичные возможности демонстрирует положительный "тепловой" фотофорез (движение поглощающих частиц в поле уходящего теплового излучения).

Дальнейшее развитие теории требует анализа фотофоретического движения и процессов гравитационной седиментации для фрактало-подобных агрегатов частиц. С целью проверки альтернативной гипотезы о возможности проявления необычно эффективных сил так называемого гравито-фотофореза разработана адекватная газо-кинетическая теория данного явления для условий свободно-молекулярного режима.

Анализ результатов показал, что данный механизм движения вряд ли значим для вертикального переноса частиц на больших высотах, но его изучение возможно в модельном лабораторном эксперименте. Среди регулярных и эффективных механизмов перемещения аэрозольных частиц на больших высотах необходимо учитывать вертикальный стратосферный ветер, направление и величина которого демонстрируют выраженную широтно-сезонную зависимость. Анализ показывает, что вертикальный стратосферный ветер может обеспечить эффективный подъем субмикронных и микронных частиц (как компактных изометрических, так и фрактало-подобных) на высоты вплоть до границы стратопавзы.

Содержание сажевого аэрозоля в городской и сельской местности в России по данным экспериментов TROICA

Копейкин В.М. (kopeikin@ifaran.ru)

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

В настоящее время актуальным является измерение аэрозольного загрязнения воздуха в городах и сельских районах, поскольку за последнее десятилетие резко сократилось число пунктов измерения Общегосударственной службы наблюдений и контроля за уровнем загрязнения атмосферы (ОГСНКА). Нами за последние 16 лет проведены измерения одной из важных составляющих антропогенного аэрозоля сажи на стационарных пунктах в городах (в мегаполисах – Москве и Пекине, городах – Душанбе, Элисте, Кисловодске и Рязани), в сельской местности – на двух научных станциях Института физики атмосферы (ИФА) РАН (в Московской области и на горе Шаджатмас) и – в фоновом районе в Таджикистане на метеостанции Алтын-Мазар (на высоте 2748 м). Существенный вклад дали проводимые с 1995 по 2005 год Институтом физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Всероссийским научно-исследовательским Институтом железнодорожного транспорта и Институтом химии Макса Планка (Германия) 8 экспедиций TROICA (Trans-Siberian Observations in the Chemistry of the Atmosphere) по измерению концентрации малых газовых примесей и аэрозоля, а также радиационных и метеорологических параметров вдоль Транссибирской железнодорожной магистрали от Москвы до Владивостока и экспедиция в меридиональном направлении (Москва–Мурманск–Кисловодск–Мурманск–Москва) с продолжительными стационарными наблюдениями в г. Кисловодске и на научных станциях ИФА.

Регион	Сажа, мкг/м ³ Н-Новгород - Хабаровск, 1998 г, зима город с/м		Сажа, мкг/м ³ Хабаровск - Н-Новгород, 1998 г, зима город с/м		Сажа, мкг/м ³ Москва - Владивосток, 2005 г, осень город с/м		Сажа, мкг/м ³ Владивосток - Москва, 2005 г, осень город с/м	
Москва	-	-	-	-	-	6.8	2.0	1.6
Н-Новгород	-	-	-	-	15.0	7.0	5.8	2.8
Вятка	5.2	2.8	1.2	1.1	7.0	3.7	5.9	4.4
Пермь	1.0	0.4	1.9	0.7	7.7	3.9	12.3	5.2
Екатеринбург	3.2	1.4	2.3	1.2	10.5	3.6	12.1	6.8
Тюмень	-	-	-	-	7.7	4.0	23.1	4.2
Омск	1.5	1.5	3.0	1.4	3.6	1.9	6.1	2.8
Новосибирск	3.2	0.6	7.4	1.4	5.6	3.2	43.8	4.1
Красноярск	2.1	1.3	7.2	0.9	10.9	0.6	4.5	0.2
Зима	7.3	1.2	8.0	3.3	5.5	3.8	3.3	0.4
Черемхово	7.1	1.2	16.5	4.0	10.8	5.6	5.7	0.7
Иркутск	5.6	1.8	7.7	0.6	14.7	1.4	15.0	0.7
Улан-Удэ	7.0	1.8	-	0.6	3.6	0.8	7.8	0.7
Чита	4.8	2.1	3.9	0.5	6.5	2.7	0.8	0.2
Семиозерный	7.7	1.5	1.1	0.8	-	-	-	-
Могоча	-	-	-	-	7.9	0.5	1.5	0.1
Шимановская	4.8	2.0	1.2	0.7	6.2	0.8/5.1	3.4	3.2
Белогорск	4.2	2.2	1.2	1.2	11.8	4.8	8.8	6.7
Хабаровск	7.7	2.5	2.7	2.2	12.5	2.0	15.1	3.7
Спасск-Дальний	-	-	-	-	2.2	0.7	6.4	1.3
Владивосток	-	-	-	-	8.4	2.4	-	3.0
Среднее	4.8	1.4	4.7	1.4	8.3	3.1	9.7	2.6

В Таблице приведены значения содержания сажевого аэрозоля вдоль транссибирской магистрали в осенне-зимний период. Для чистых участков сельской местности характерны значения 0.1–0.5 мкг/м³, что повсеместно наблюдается в летние периоды измерений, реже весной и осенью и крайне редко зимой. В зимний период, по результатам наблюдения в экспедиции TROICA в 1998 году, в сельской местности получены значения концентрации

сажи в диапазоне 0.5–4.0 мкг/м³, а в весенний период 2004 года – 0.3–5.3 мкг/м³. Причины возникновения повышенных уровней содержания сажи в атмосферном воздухе для разных сезонов могут быть разными. Зимой при антициклонах часто возникает продолжительные инверсии температуры, в результате чего происходит накопление загрязняющих атмосферу примесей в течение длительного времени в населенных пунктах и перенос их в сельскую местность. Весной, летом и осенью в разные годы в разное время случаются лесные пожары и жгут траву (особенно часто на Дальнем Востоке), а в засушливые годы горят торфяники (на Европейской части России), последствия которых отразились на результатах наших измерений.

1. Копейкин В.М.. Сажевый аэрозоль в атмосфере города Москвы. *Изв. РАН, ФАО*, 1998, **34**, 1, 104–110.
2. Ван Ген Чен, Е.И. Гречко, А.С. Емиленко, В.М. Копейкин, Е.В. Фокеева. Результаты совместных измерений окиси углерода в толще атмосферы и субмикронного аэрозоля в приземном слое в Пекине. *ОАО*, 2003, **16**, 1, 45–51.
3. Belikov B., I.G. Granberg, E.M. Dobryshman, A.F. Deyachkov, N.F. Elansky, A.S. Emilenko, V.M. Kopeikin, and E.F. Fokeeva. En-Route Measurements of Atmospheric Pollution in the Region of Caucasus Mineral Waters. *Izv., Atmospheric and Oceanic Physics*, 2001, **37**, 1, S102–S109.
4. Горчаков Г.И., В.М. Копейкин и др. О пространственном распределении субмикронного и сажевого аэрозоля над континентом Евразии. *Сб. трудов 3 межд. конф. "Естественные и антропогенные аэрозоли"*, 24.09 – 27.09.2001, Санкт-Петербург, 2003, 52–54.

Глобальные и региональные изменения облачности по данным ISCCP в 1983–2004 гг.

Чернокульский А.В. (chern_av@ifaran.ru), Мохов И.И.

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

Представлены оценки изменения количества облаков по спутниковым данным ISCCP (International Satellite Cloud Climatology Project – Международный спутниковый проект по климатологии облачности) и их связи с вариациями приповерхностной температуры в обоих полушариях за период 1983–2004 гг.

По данным ISCCP как для среднегодового режима, так и для отдельных сезонов, в основном преобладают регионы с отрицательными трендами количества облаков и отрицательной их корреляцией с приповерхностной температурой (по наземным наблюдениям) для последних двух десятилетий. Так, для глобально осредненных среднегодовых значений облачности n тренд составил $-0,0015 \text{ год}^{-1}$. Коэффициент регрессии линейной связи n с аномалиями глобальной температуры δT составил $-0,043 \text{ K}^{-1}$.

Для некоторых регионов отмечается положительный тренд облачности и положительная связь облачности с аномалиями приповерхностной температуры: для пояса средних широт над Евразией, субтропических и тропических широт Северной Америки, Австралии, района Алеутского минимума и области формирования Эль-Ниньо.

Проведен также анализ связи региональных изменений глобального поля облачности с явлениями Эль-Ниньо, характеризующимися, в частности, температурой поверхности океана в регионе Ниньо3 ($5^\circ\text{ю.ш.} - 5^\circ\text{с.ш.}$, $150^\circ\text{з.д.} - 120^\circ\text{з.д.}$) T_{Nino3} . С явлениями Эль-Ниньо ассоциируются сильнейшие межгодовые вариации глобальной приповерхностной температуры. Для сезонов максимального развития Эль-Ниньо в декабре–феврале отмечена положительная корреляция общей облачности и T_{Nino3} для субтропических и тропических широт западной части Тихого океана. Наиболее значимая отрицательная корреляция облачности с T_{Nino3} отмечена в экваториальной зоне Тихого океана. В этих же регионах наблюдается и наибольшая разница облачности между фазами Эль-Ниньо и Ла-Нинья.

Гигроскопические свойства модельного ряда органических и органико-солевых аэрозолей

Михайлов Е.Ф. (Eugene.Mikhailov@paloma.spbu.ru), Власенко С.С.

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

Способность поглощать водяной пар и служить облачными ядрами конденсации является фундаментальным свойством аэрозольных частиц, определяющим их важную роль в энергетическом балансе атмосферы. Закономерности гигроскопического роста неорганических солевых частиц достаточно хорошо изучены и обобщены в известных термодинамических моделях, адаптированных для решения климатических задач различного уровня. Однако данные анализа химического состава аэрозолей, выполненные в последние два десятилетия, свидетельствуют о том, что наряду с солевым компонентом атмосферный аэрозоль содержит высокий процент органических веществ различной природы. В зависимости от региона, времени года и источника происхождения относительный массовый вклад органической фракции в вещество аэрозоля колеблется в пределах от 10% до 90%. Многообразие идентифицированных органических веществ, с одной стороны, и ограниченность данных по их гигроскопическим свойствам, с другой, во многом усложняет задачу построения корректных моделей конденсационного равновесия атмосферных аэрозолей.

В данной работе представлены результаты измерений и расчетов гигроскопических свойств водорастворимых органических и органико-солевых частиц, моделирующих атмосферный аэрозоль антропогенного происхождения. Исследования конденсационного роста аэрозолей выполнены в диапазоне относительных влажностей 5%–95% с помощью тандема дифференциальных анализаторов подвижности (модель TSI 3071). Получены гидратационные и дегидратационные кривые для типичных продуктов, образующихся в процессе горения различных видов биологического топлива, – левоглюкозана, щавелевой и глутаровой кислот, а также для высокомолекулярных полифункциональных соединений, – гуминовой кислоты и протеина BSA. Исследованы гигроскопические свойства перечисленных соединений в смеси с сульфатом аммония в широком диапазоне относительных концентраций. В частности, обнаружено, что вследствие специфических взаимодействий низкомолекулярные дикарбоновые кислоты не подавляют, а усиливают гигроскопический рост частиц сульфата аммония. Результаты измерений сопоставлены с данными расчетов, основанными на моделях Келера, UNIFAC и ZSR (Ждановский-Стокс-Робинсон). Показано, что для исследованных смешанных соединений модель Келера (в приближении объемной аддитивности компонентов смеси) воспроизводит гигроскопический рост с точностью не хуже, чем 5%. По данным гигроскопического роста были восстановлены активности компонентов в области насыщения и рассчитаны критические параметры частиц.

Полученные данные находятся в хорошем согласии с результатами прямых измерений конденсационной активности частиц.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 05-05-64756-а "Исследование конденсационного роста дымового аэрозоля: влияние морфологии и химического состава".

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

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

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

Интернет доступная информационно-вычислительная система "Атмосферная радиация"

Фирсов К.М. (fkf@iao.ru), Сакерин С.М., Журавлева Т.Б., Козодоева Е.М., Козодоев А.В.,
Привезенцев А.И., Воронина Ю.В.

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

В докладе представлены результаты работы по созданию информационных и вычислительных ресурсов в области атмосферной радиации, доступные для коллективного использования. Доступ к ресурсам организован с помощью веб-интерфейса (<http://atrad.atmos.iao.ru>).

Информационная компонента этих ресурсов включает в себя данные об экспериментальных измерениях радиационно-значимых компонент солнечного излучения, проводимых на радиационном комплексе ИОА СО РАН. В системе имеются интерфейсы для расчета восходящих и нисходящих спектральных потоков и интенсивности коротковолнового излучения на верхней и нижней границе атмосферы.

В докладе детально описаны методики расчета радиационных характеристик, которые позволяют проводить моделирование для приборов наземного базирования. Для решения уравнения переноса излучения используется пакет программ DISORT. Для параметризации молекулярного поглощения используются ряды экспонент. Разработан асимптотически точный метод учета перекрывания полос поглощения, который позволяет минимизировать погрешности метода корреляции k -распределения. Параметры разложения функции пропускания в ряд экспонент рассчитываются на основе базы данных HITRAN-2004 с учетом инструментальных функций действующих приборов и реальных метеорологических параметров атмосферы и профилей концентрации газов. Для тестирования этих алгоритмов проведено сравнение наших результатов с эталонными расчетами восходящих и нисходящих потоков line-by-line методом для безоблачной атмосферы. Для сопоставления с данными натурных измерений в условиях сплошной облачности проводились расчеты переноса радиации методом Монте-Карло. Показано, что предложенные алгоритмы обладают высокой точностью и просты при компьютерной реализации.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 04-07-90123).

Спектральные коэффициенты поглощения метана в тепловых режимах планет-гигантов

Мороженко А.В. (enev@mao.kiev.ua)

Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, ул. Ак. Заболотного 27, 03680 Киев, Украина

Во всех работах по анализу спектрофотометрических наблюдений планет-гигантов используются модели изотермической атмосферы, а данные о монохроматических коэффициентах поглощения метана k_λ берутся с лабораторных измерений, чаще всего, при комнатной температуре. В то же время атмосферы этих планет характеризуются довольно сложными температурными профилями [1], а значения k_λ зависят от температуры (в центре полосы поглощения увеличиваются с уменьшением температуры, а в крыльях – уменьшаются [2]). Поэтому был разработан метод определения k_λ [2–4] непосредственно по наблюдательным данным о спектральных значениях геометрического альбедо [5] с

использованием данных о k_λ в центрах полос поглощения [6]. Для Юпитера и Сатурна принимались известными спектральные значения индикатрисы рассеяния и объемного коэффициента рассеяния атмосферного аэрозоля [7], а относительная концентрация метана принималась независимой от глубины в атмосфере и равной 0.0021. Поскольку для атмосфер Урана и Нептуна отсутствуют данные о физических свойствах аэрозоля и имелись обоснованные предпосылки для предположения об изменении относительной концентрации метана с глубиной [7], то предварительно пришлось находить приблизительное значение радиуса частиц и закономерности изменения относительной концентрации метана с глубиной. Кроме того, учитывалось влияние комбинационного рассеяния на определяемые значения альбедо однократного рассеяния в коротковолновой области спектра. Значения k_λ определены с шагом 0.4 нм в интервале длин волн 535–946 нм для Юпитера и Сатурна и 438–940 нм для Урана и Нептуна.

1. Lindal G.F. The atmosphere of Neptune: An analysis of radio occultation data acquired with Voyager 2. *Astron. J.*, 1992, **103**, 3, 967–982.
2. Мороженко А.В. Переопределение значений монохроматических коэффициентов поглощения метана с учетом тепловых режимов планет-гигантов. I. Полоса поглощения на $\lambda = 619$ нм. *Кинематика и физика небесных тел*, 2002, **18**, 4, 376–384.
3. Мороженко А.В. Переопределение монохроматических коэффициентов поглощения метана с учетом тепловых режимов планет-гигантов. II. Юпитер. *Кинематика и физика небесных тел*, 2003, **19**, 6, 483–500.
4. Мороженко А.В. Переопределение монохроматических коэффициентов поглощения метана с учетом тепловых режимов планет-гигантов. III. Уран и Нептун. *Кинематика и физика небесных тел*, 2006, **22**, 2, 138–153.
5. Karkoshka E. Spectrophotometry of the Jovian planets and Titan at 300 to 1000-nm wavelength: The methane spectrum. *Icarus*, 1994, **111**, 2, 174–192.
6. Giver L.P. Intensity measurements of the CH₄ bands in the region of 4350 to 10600 Å. *J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer*, 1978, **19**, 2, 311–322.
7. Мороженко О.В. Методи і результати дистанційного зондування планетних атмосфер. Киев: Наукова думка. 2004, 647 с.

Новый метод расчета прохождения излучения от горячего газового источника через холодные газовые среды

Киселёв М.Б. (mbkiselev@rambler.ru), Бокатович Б.Б., Голованов С.Н.

Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова, Биржевая линия 12, 199000 Санкт-Петербург, Россия

К настоящему времени продолжают оставаться проблемы и затруднения при описании прохождения излучения от горячего газового источника через холодные газовые среды той же химической природы. Прежде всего, в современной литературе весьма малочисленны программы, позволяющие рассчитывать параметры спектральных линий горячих газов для температур выше 1500 К. Весьма ощутимые затруднения возникают вследствие существенного ограничения методологических разработок, обеспечивающих корректное описание взаимодействий излучающих и поглощающих радиационных процессов с участием горячих и холодных газов.

В настоящей работе многие методологические препятствия были преодолены. Для расчетов излучательной способности горячих газов были использованы программы HOTVIBRONIC [1] и HOTGAS [2]. Программы HOTVIBRONIC и HOTGAS позволяют рассчитывать параметры спектральных линий (ПСЛ) ряда горячих атомных и молекулярных газов (положения, интенсивности, полуширины линий и др.). Кроме того, методом line-by-line обеспечивают вычисление коэффициентов поглощения $k(\nu)$ и излучательные способности $\varepsilon(\nu)$ выбранных газов. Программа HOTVIBRONIC позволяет вести расчеты ПСЛ и спектров поглощения $k(\nu)$ и излучательных способностей $\varepsilon(\nu)$ для электронно-колебательно-вращательных (вибронных) переходов ряда двухатомных молекул O₂, N₂, H₂,

ОН и других газов для температур до 10000 К. Программа HOTGAS позволяет вести аналогичные вычисления для колебательно-вращательных переходов молекул H_2O и CO_2 .

Спектральное пропускание холодной газовой среды рассчитывается с использованием ранее разработанной программы SPAK 1 [3]. Эта программа в своей основе использует результаты прямых вычислений line-by-line, базирующихся на спектроскопической информации HITRAN-2000. Для однозначности получаемых решений результаты вычислений line-by-line описываются с помощью метода эффективных параметров поглощения холодных газов. Для решения ряда методологических аспектов настоящей работы была разработана модификация программы SPAK 2M [4].

Таким образом, предложенные в настоящей работе метод и программный комплекс HOTSPAK включают в себя программы SPAK 1, SPAK 2M, HOTVIBRONIC, HOTGAS, некоторые дополнительные связующие программы, а также конкретные решающие методологические аспекты.

Вычислительный комплекс HOTSPAK обеспечивает расчёт изменения излучательной способности $\varepsilon(\lambda)$ (или яркости $B(\lambda)$) радиации горячего газа при прохождении через однородную или смешанную холодную газовую среду при фиксированном спектральном разрешении $\Delta\lambda$ как для горячего излучения, так и для холодного поглощения. В настоящей работе использовалось значение $\Delta\lambda = 25$ нм. Однако в дальнейшем набор спектральных разрешений может быть расширен в большую или меньшую сторону.

Программа HOTSPAK обеспечивает вычисление интегральной прозрачности холодной газовой среды в участках спектра различной протяжённости и широкой области спектра (200 нм–25000 нм) как при прохождении радиации от горячих газов, так и при прохождении тепловых излучателей типа абсолютно чёрного тела (АЧТ). Программа позволяет вычислять спектры излучательной способности $\varepsilon(\lambda)$ и яркости $B(\lambda)$ горячих газов как на входе в холодную среду так и на её выходе.

Следует отметить, что комплекс программ HOTSPAK открыт для дальнейших модификаций, например, путём дополнения числа компонентов горячих молекулярных газов, спектральных разрешений и др. Метод и комплекс HOTSPAK может найти широкое применение при решении целого ряда прикладных задач астрофизики, экологии, контроля промышленных установок и др.

1. Abaturon A.S., E.A. Gavrilin, N.N. Naumova, S.B. Petrov, A.P. Smirnov, M.B. Kiselev. The program complex for computation spectroscopic characteristic of atomic and molecular gases in UV, visible and IR spectral range for a wide range of temperatures and pressures. *Journ. Quant. Spect. Rad. Transfer*, 2004, **84**, 215–222.
2. Voitsehovskay O.K., A.A. Peshkov, M.M. Tarasenko, T.Yu. Sheludyakov. Information system for calculation the spectral characteristic of hot CO , CO_2 and H_2O gases (HOTGAS 2.0). *Russian Physics Journ.*, 2000, 43, 1–8.
3. Kiseleva M.S., SN. Golovanov, V.A. Kazbanov, I.N. Reshetnikova, G.E. Sinelnikova, A.P. Smirnov. Calculation program of spectral atmospheric transmittance in the 0,2–25,0 μm region. *Journ. Opt. Technology*, 2000, 67, 56–61.
4. Kiseleva M.S., SN. Golovanov, V.A. Kazbanov, I.N. Reshetnikova, G.E. Sinelnikova. Modern atmospheric models and spectral and integral atmospheric transmittance calculation in the 0,2–25,0 μm region. *Proc. Int. Conf. "Current Problem in Optics of Natural Water"*. SPb, 2001; 350.

Аналитический способ описания и высотная зависимость компонент молекулярного поглощения в атмосферных окнах прозрачности в диапазоне 0.4–12 мкм

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

Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова, Биржевая линия 12, 199000 Санкт-Петербург, Россия

Корректное определение и выделение индивидуальных компонент радиационного ослабления, составляющих суммарный радиационный коэффициент ослабления в атмосферных окнах прозрачности, сопряжены с дискуссиями и нуждаются в дальнейшем их развитии.

Одной из существенных причин тому служит различная физическая природа формирования отдельных индивидуальных компонент ослабления, описываемых различными зависимостями ослабляющих параметров атмосферы, в том числе многопараметрическими.

В предлагаемой работе на примере отдельных окон прозрачности детально исследована компонента молекулярного поглощения радиации. Основой анализа служили прямые вычисления line-by-line с использованием спектроскопической информации HITRAN. Результаты расчетов описаны традиционным методом эффективных параметров поглощающих газов, присутствующих в рассматриваемых окнах. Отчетливо продемонстрирована линейная форма метода эффективных параметров среды. На основе выполненных исследований для компоненты молекулярного поглощения предложена аналитическая форма описания спектральных и высотных зависимостей для большинства окон атмосферной прозрачности.

Новые методы и подходы в интерпретации спектров пропускания атмосферы, измеренных в стратостатных экспериментах в атмосферных окнах прозрачности

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

Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова, Биржевая линия 12, 199000 Санкт-Петербург, Россия

Для условий стратостатных экспериментов, выполненных ранее авторами предлагаемой работы в различных районах России и Казахстана, рассмотрены высотные и спектральные зависимости суммарных и аэрозольных коэффициентов ослабления в области спектра 0.4–2.2 мкм и 8.0–12.0 мкм на высотах до 25 км. Количественные данные о молекулярных компонентах поглощения в атмосферных окнах прозрачности ранее не рассматривались.

Проведено сопоставление вновь полученных вычисленных и приведенных в первом сообщении настоящей конференции данных о компонентах молекулярного поглощения с результатами измеренных ранее в стратостатных экспериментах. Осуществлённое сопоставление стратостатных коэффициентов суммарного радиационного ослабления выявило существенную роль компонент молекулярного поглощения в атмосферных окнах прозрачности, особенно в области $\lambda > 1$ мкм, в том числе и в области стратосферы.

Информационная система по молекулярной спектроскопии

Быков А.Д., Козодоев А.В., Фазлиев А.З. (faz@iao.ru)

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

Привезенцев А.И.

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

Государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск

Тонков М.В., Филиппов Н.Н.

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

Третьяков М.Ю.

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

Необходимость создания информационных систем в молекулярной спектроскопии обуславливается, прежде всего, тем фактом, что число рассчитанных переходов между энергетическими состояниями молекул, например, воды, превысило уже полмиллиарда [1], а

количество энергетических уровней исчисляется сотнями тысяч. Публикация таких объемов данных в журналах становится проблематичным. Информационные системы, на наш взгляд являются адекватной формой для размещения таких объемов данных и инструментария для работы с ними.

Необходимость создания распределенных информационных систем (РИС) диктуется тем фактом, что они одновременно становятся хранилищами информации на разных абстрактных уровнях. Инфраструктура первой РИС для молекулярной спектроскопии была создана нами в 2005 г. [2]. Система расположена в Нижнем Новгороде (<http://saga.atmos.appl.sci-nnov.ru/>), Петербурге (<http://saga.atmos.molsp.phys.spbu.ru/>) и Томске (<http://saga.atmos.iao.ru/>).

ИС содержит наборы данных по параметрам спектральных линий, уровням энергии молекулы воды и коэффициентам поглощения. В ИС можно решать два типа задач: задачи манипулирования данными и задачи вычисления спектральных функций. К числу свежих экспериментальных данных относятся, например, данные, полученные в ИПФ РАН [3, 4]. Для расчетов коэффициентов поглощения молекулы углекислого газа используется подход, основанный на учете интерференции спектральных линий [5].

Авторы благодарны РФФИ за поддержку работы (грант 05-07-90196).

1. Barber R.J., J. Tennyson, G.J. Harris, R.N. Tolchenov. A high accuracy computed water line list. *Mon. N. Royal Astr. Soc.*, 2006 (в печати).
2. Bykov A., A. Fazliev, L. Sinitsa, N. Filippov, M. Tonkov, M. Tretyakov. Distributed Information System on Molecular Spectroscopy. *Abstracts of the Nineteenth Colloquium on High Resolution Molecular Spectroscopy*, 11–16 September 2005, Salamanca, Spain, 2005, 158–159.
3. Golubiatnikov G.Yu., A.V. Lapinov, A. Guarnieri and R. Knöchel. Precise Lamb-dip measurements of millimeter and submillimeter wave rotational transitions of $^{16}\text{O}^{12}\text{C}^{32}\text{S}$. *J. Mol. Spectrosc.*, 2005, **234**, 136–140.
4. Tretyakov M.Yu., M.A. Koshelev, V.V. Dorovskikh, D.S. Makarov, and P.W. Rosenkranz. 60-GHz oxygen band: precise broadening and central frequencies of fine structure lines, absolute absorption profile at atmospheric pressure, revision of mixing coefficients. *J. Mol. Spectr.*, 2005, **231**, 1–14.
5. Filippov N.N., V.P. Ogibalov, and M.V. Tonkov. Line mixing effect on the pure CO_2 absorption in the 15 μm region. *JQSRT*, 2002, **72**, 4, 315–325.

Восстановление высотного профиля концентрации озона из измерений интенсивности эмиссий O_2 на 762 нм и 1.27 мкм в рамках модели электронно-колебательной кинетики фотолиза O_3 и O_2

Янковский В.А. (Valentine.Yankovsky@paloma.spbu.ru), Мануйлова Р.О., Кулешова В.А., Семенов А.О.

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

Олемской И.В., Романов К.Ю.

Факультет ПМ-ПУ Санкт-Петербургского государственного университета

Развитая авторами модель кинетики возбужденных продуктов фотолиза O_3 и O_2 , в которой рассматриваются процессы передачи энергии между электронно-колебательно возбужденными состояниями молекулы кислорода $\text{O}_2(a^1\Delta_g, v \geq 1)$, $\text{O}_2(b^1\Sigma_g^+, v \geq 1)$ и атомом $\text{O}(^1\text{D})$, а также молекулами кислорода в основном состоянии $\text{O}_2(X^3\Sigma_g^-, v \geq 1)$, используется для восстановления высотных профилей концентрации озона из измеренных интенсивностей эмиссий в полосах 762 нм и 1.27 мкм в интервале 60–120 км. Рассматриваются математические аспекты нестационарной задачи по расчету вертикальных профилей концентраций электронно-колебательно возбужденных молекул кислорода для различных зенитных углов Солнца.

На примере восстановления высотных профилей $[\text{O}_3]$ из одновременно измеренных в ракетном эксперименте интенсивностей кислородных эмиссий в полосах 762 нм и 1.27 мкм сделаны следующие выводы: (а) если при восстановлении озона пользоваться моделью только электронной кинетики возбужденных продуктов фотолиза O_3 и O_2 , то

предпочтительнее использовать измерения интенсивности эмиссии в полосе 762 нм, а не в атмосферной полосе 1.27 мкм; (б) восстановленные из измеренных интенсивностей эмиссий в полосах 762 нм и 1.27 мкм концентрации озона сильно зависят от скоростей ряда столкновительных процессов; (в) высотный профиль концентрации CO_2 значительно влияет на значения восстановленных из интенсивностей эмиссии в полосе 762 нм концентраций озона в интервале высот 60–90 км.

Возможный механизм образования спрайтов

Сулейменов И.Э. (Esenych@yandex.ru), Чечин Л.М.

Институт ионосферы, Каменское Плато, 480020 Алма-Ата, Казахстан

Спрайты (эльфы) представляют собой достаточно редкое оптическое явление, зарегистрированное только при отдельных наблюдениях с борта космических летательных аппаратов. Тем не менее, они привлекают интерес исследователей, в частности, их изучение включено в программу космических исследований в Казахстане.

В данной работе предложена гипотеза, позволяющая интерпретировать появление спрайтов. Она основана на традиционной для физики плазмы классификации газовых разрядов по шкале давлений. Именно, механизмы разряда при низких давлениях, заметно отличаются от реализующихся при высоких. Основное отличие состоит в малых значениях напряженности электрического поля, обеспечивающего поддержание разряда при давлениях порядка нескольких Торр. При сравнительно низкой частоте столкновений электрон успевает приобрести энергию, необходимую для возбуждения атомов или молекул, в поле достаточно малой напряженности. Это объясняет, в том числе, сравнительно низкую напряженность поля, обеспечивающего пробой газа. Можно отметить, что по имеющимся фотографиям спрайты напоминают диффузный разряд, реализующийся при давлениях в единицы Торр. Следовательно, газоразрядная интерпретация появления спрайтов может быть принята при условии, что имеется механизм, обеспечивающий локальное понижение давления на высотах верхней атмосферы в течение времени, достаточного для развития разряда.

Нами показано, что резкое понижение давления на высотах средней и верхней атмосферы может иметь место в результате деформации фронта волн (как внутренних гравитационных, так и акустико-гравитационных) и их последующей фокусировки в каустических точках. Появление деформированных волновых фронтов в реальной атмосфере не является исключительным событием, так заметное отклонение геометрии фронта от плоской или сферической может иметь место в результате сравнительно слабых флуктуаций локального значения температуры (в пределах единиц градусов Цельсия).

Выполнены численные расчеты, показывающие, что уровень понижения давления в каустических точках волновых фронтов может быть достаточен для пробоя газа по механизму, характерному для низких давлений. (Большие длины свободного пробега электронов, каскадная ионизация заряженных частиц).

В целом, можно предложить гипотезу, интерпретирующую спрайты как диффузный газовый разряд, развивающийся в локальных областях пониженного давления. Редкий характер данного явления объясняется необходимостью наложения электрического поля именно на область существенного понижения давления.

Деактивация $O_2(A^3\Sigma_u^+, v=0)$ молекулами CO_2 , O_2 и атомами O

Анисимова О.М. (omm_anisimova@mail.ru), Хворостовская Л.Э., Потехин И.Ю.
НИИ физики Санкт-Петербургского государственного университета, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Кислородные эмиссии в полосах Герцберга (Hz I, II, III) относятся к основным свечениям атмосфер планет земной группы в видимой и ультрафиолетовой областях спектра. В атмосфере Венеры максимум интенсивности этих эмиссий наблюдается в полосах Hz II. А так как для CO_2 -содержащих атмосфер молекулярный кислород появляется как вторичный продукт рекомбинации атомарного кислорода, возникающего при диссоциации CO_2 , то перспективным методом интерпретации интенсивностей атмосферных свечений в полосах Герцберга является совместное рассмотрение совокупных процессов, обуславливающих возникновение возбужденного состояния O_2 как в смеси O_2 и N_2 , так и в чистом CO_2 . Однако этому препятствует недостаток данных лабораторных исследований.

Тлеющий разряд с полым катодом в CO_2 позволяет наблюдать в спектре излучения все три системы полос Hz I, II, III, причем спектр представлен интенсивными переходами с нулевых колебательных уровней, воспроизводя характер эмиссий в углекислой атмосфере Венеры.

Были измерены абсолютные интенсивности полос Герцберга и определены заселенности колебательных уровней из интенсивностей переходов $O_2(A^3\Sigma_u^+, v=0 \rightarrow X^3\Sigma_g^-, v=8,9,10)$, $O_2(A^3\Delta_u, v=0 \rightarrow X^3\Sigma_g^-, v=9,10)$ и $O_2(c^1\Sigma_u, v=0 \rightarrow X^3\Sigma_g^-, v=9,10)$ с использованием литературных данных о радиационных вероятностях перехода. Проведено численное моделирование процессов возбуждения и деактивации нулевого колебательного уровня для $O_2(A^3\Sigma_u^+)$ и оценка констант скоростей деактивации его молекулами CO_2 , O_2 и атомами O , которые имеют следующие значения: $K_{CO_2} = (1.05 \pm 0.25) \cdot 10^{-14} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$; $K_{O_2} = (1.5 \pm 1.2) \cdot 10^{-13} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$; $K_O = (1.15 \pm 0.27) \cdot 10^{-10} \text{ см}^3 \cdot \text{с}^{-1}$.

Получены значения вероятностей образования нулевого колебательного уровня $O_2(A^3\Sigma_u^+)$ и полной концентрации O_2 в гетерогенных процессах рекомбинации, характерные для исследуемых условий эксперимента.

Сравнения измеренных и рассчитанных функций пропускания в А-полосе кислорода при 0.76 мкм

Семакин С.Г., Поляков А.В. (alexandr@AP13786.spb.edu), Тимофеев Ю.М.
Научно-исследовательский институт физики им. В.А. Фока СПбГУ, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Измерения в полосе кислорода при 0.76 мкм широко используются в дистанционном спутниковом зондировании атмосферы – для определения высоты облачности, высотной привязки при затменных измерениях, восстановления вертикального профиля температуры и т.д. Точность решения различных обратных задач в существенной степени зависит от точности расчета характеристик поглощения в этой полосе.

В работе проведены сопоставления экспериментальных и расчетных функций пропускания (ФП) на касательных трассах в полосе кислорода. В качестве экспериментальных ФП использовались данные изменений в 14 спектральных каналах прибора SAGE III. Расчет ФП проводился на основе прямого метода (line-by-line) и современных данных о параметрах тонкой структуры полосы поглощения кислорода (HITRAN-2004).

Приведены результаты анализа сопоставлений экспериментальных и расчетных ФП для различных условий состояния атмосферы. Изучены различные факторы, влияющие на результаты таких сопоставлений (погрешности задания вертикального профиля температуры, влияние второстепенных поглотителей, аэрозольное ослабление и т.д.). Проведенное сопоставление показало наличие систематических отличий между экспериментом и расчетом, которые не могут быть объяснены изученными факторами. Проводится анализ дополнительных источников обнаруженных расхождений.

Работа выполнена при частичном финансировании РФФИ (гранты 05-05-65305-а, 06-05-64909-а) и Минобрнауки России (гранты РНП.2.1.1.4166 и РНП.2.2.1.1.3836).

Фотодиссоциация озона в полосе Хартли: Аналитическое описание квантовых выходов электронно-колебательно возбужденных молекул $O_2(a^1\Delta_g, v=0-5)$ в зависимости от длины волны фотокванта

Кулешова В.А. (kuleshova@lmupa.phys.spbu.ru), Янковский В.А.

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

В современной фотохимической модели диссоциации озона в полосе Хартли [1] необходимо учитывать образование метастабильных электронно-возбужденных молекул кислорода $O_2(a^1\Delta_g, v)$ с высокой степенью колебательного возбуждения.

В работе впервые предложена аналитическая аппроксимация для описания зависимости квантовых выходов электронно-колебательно возбужденных молекул $O_2(a^1\Delta_g, v = 0-5)$ синглетного канала фотолиза озона в полосе Хартли в зависимости от длины волны λ фотокванта. Получена единая аналитическая формула для всех квантовых выходов электронно-колебательно возбужденных молекул $O_2(a^1\Delta_g, v)$, которая зависит как от порога образования соответствующего колебательного уровня молекулы $O_2(a^1\Delta_g, v)$, так и от энергии фотокванта. Полученные результаты хорошо согласуются с известными экспериментальными данными.

1. Янковский В.А., Мануйлова Р.О. *Оптика Атмосферы и Океана*, 2003, **16**, 7, 582–586.

База данных АО СИВИ – Атмосферное Ослабление Светового Излучения Высокотемпературного Источника

Осипов В.М. (osipov@niiki.ru), Бедрин А.Г., Борисова Н.Ф., Роговцев П.Н.

ФГУП НИИКИ ОЭП, 188540 Сосновый Бор, Ленинградская обл., Россия

При вхождении космических тел в плотные слои атмосферы, при мощных вспышках в ударно-сжатом слое выделяется значительное количество энергии и образуется область, нагретая до очень высоких температур. В процессе дальнейшего преобразования энергии значительная часть ее переходит в энергию электромагнитного излучения и распространяется через атмосферу. Измеряя величину потока светового излучения с космической станции или с поверхности Земли, можно определить тип и энергию излучателя, массу и скорость космического тела.

В Базе данных АО СИВИ содержатся результаты расчетов спектроэнергетических характеристик светового излучения высокотемпературного источника с учетом его ослабления в атмосфере Земли. Представленные данные обеспечивают определение спектрального потока (Вт/стер) и светового импульса (Дж/стер) излучения для источников с энергией от 10^{12} до 10^{18} Дж в 20 спектральных интервалах, перекрывающих диапазон 0.2–20 мкм. Расчеты выполнены в предположении, что источник излучения находится на высоте 1, 10, 20, 40 и 60 км. Ослабление излучения в атмосфере рассчитано для набора атмосферных

трасс с длиной от 0.1 до 100 км и 5 зенитных углов. Модели атмосферы – зима и лето средних широт.

Для вычисления излучения светящейся области использовались эмпирические и теоретические модели [1, 2]. Расчет ослабления излучения светящейся области при его распространении через атмосферу в УФ-области выполнен на основе базы данных UVACS [3] с помощью комбинированного алгоритма, изложенного в этой работе. Для учета ослабления в ИК-области спектра использовался эффективный метод расчета атмосферной прозрачности, основанный на адаптивной модели полосы поглощения [4].

Основные особенности данного метода заключаются в следующем:

1. Спектральная область расчета делится на интервалы, в пределах которых для определения молекулярного поглощения используется либо квазислучайная, либо регулярная модель Эльзассера. Тип модели определяется автоматически в процессе расчета на основании анализа структуры полосы.
2. Все параметры модели рассчитываются с использованием базы данных Hitran о параметрах спектральных линий.
3. Модельные выражения для функции пропускания модифицированы с целью учета влияния соседних спектральных интервалов и отклонения контура спектральной линии от лорентцевского. Неоднородность атмосферной трассы учитывается при численном интегрировании по длине трассы.

Преимущества данного метода заключаются в высокой скорости и хорошей точности расчета (сравнимой с точностью метода line by line), что показано сопоставлениями с результатами прямых расчетов.

Для удобства пользователей разработана дополнительная интерполяционная процедура, позволяющая получать оценки как спектроэнергетических характеристик источника, так и характеристик прозрачности атмосферы для произвольных параметров источника и трассы в любом спектральном диапазоне.

В качестве примера в докладе представлены результаты вычислений энергии излучения, которая будет доставлена до верхней или нижней границы атмосферы в основных окнах прозрачности атмосферы (при выделении энергии на различных высотах в диапазоне 10^{+13} – 10^{+16} Дж.

1. Светцов В.В. Взрывы в нижней и средней атмосфере. Сферически симметричная стадия. *Физ. горения и взрыва*, 1994, **30**, 5, 129–142.
2. Гренишин С.Г. Оптика ядерного взрыва. *ВОТ*, сер.Х, 1971, вып.41, 36–53.
3. Осипов В.М., Борисова Н.Ф. Ослабление УФ-радиации на атмосферных трассах. *Оптика атмосферы и океана*, 1998, **11**, 5, 440–444.
4. Осипов В.М. Быстрый метод расчета спектральных функций пропускания для неоднородных атмосферных трасс. *Изв. АН СССР, ФАО*, 1987, **23**, 2, 140–147.

СЕКЦИЯ 5. СПУТНИКОВОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ И ПОВЕРХНОСТИ

Председатель: д.ф.-м.н. **А.Б. Успенский** (НИЦ "Планета")

Сопредседатели: д.ф.-м.н. **А.В. Троицкий** (НИРФИ, Н.-Новгород),

д.ф.-м.н. **А.Ф. Нерушев** (ИЭМ, Обнинск), к.ф.-м.н. **Л.П. Бобылев**
(Нансен-центр, Санкт-Петербург)

Monitoring of atmospheric species with SCIAMACHY limb measurements: Recent developments at the University of Bremen

Rozanov A. (Alexej.Rozanov@iup.physik.uni-bremen.de), Bovensmann H., Bracher A.,
Eichmann K.-U., Heckel A., Rohen G., von Savigny C., Scharringhausen M., Sheode N.,
Sinnhuber B.-M., Sinnhuber M., and Burrows J.P.

Institute of Environmental Physics/Institute of Remote Sensing (iup/ife), University of Bremen, P.O. Box 330440, D-28334, Bremen, Germany

The Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Chartography (SCIAMACHY) launched on board the European Environment Satellite (ENVISAT-1) in March 2002 is one of the new generation space-borne instruments intended to improve our knowledge of the atmospheric physics and chemistry. The SCIAMACHY instrument measures the scattered and reflected spectral radiance in nadir and limb geometry and the spectral radiance transmitted through the atmosphere in solar/lunar occultation geometry in the spectral region 240–2380 nm.

Measurements of the scattered solar radiation in the limb viewing geometry offer a great opportunity to retrieve information about vertical distributions of various atmospheric species as well as to investigate the scattering properties of the atmosphere obtaining information on clouds, aerosols, etc. The altitude coverage of SCIAMACHY limb retrievals ranges from the upper troposphere over the stratosphere to the mesosphere.

This contribution is intended to report recent results of limb retrieval activities at the University of Bremen. For stratospheric species, such as O₃, NO₂ and BrO, new validation results as well as improvements of the standard retrieval methods will be shown. Investigations of altitudes of the detected Polar Stratospheric Clouds (PSCs) and stratospheric temperatures associated with the occurrence of PSCs demonstrate a good agreement of the retrieval results with the current knowledge of the PSC physics. New interesting results are obtained for the tropospheric NO₂ combining limb and nadir measurements, as well as for the water vapor in the UT/LS region. A number of emission signatures attributed to metals and metal ions – Mg, Mg⁺, Fe, Fe⁺ and others – were identified in the mesospheric limb measurements. Here, first results of the Mg/Mg⁺ retrieval are presented, providing the first ever measurements of these species on a global scale.

Дистанционный мониторинг содержания CO₂ в атмосфере по данным спутникового ИК-зондировщика AIRS

Успенский А.Б. (uspensky@planet.iitp.ru), Кухарский А.В.

Научно-исследовательский центр "Планета", Б. Предтеченский пер. 7, 123242 Москва, Россия

Исследованы возможности и ограничения дистанционного мониторинга вариаций общего содержания (ОС) углекислого газа (CO₂) в атмосфере по данным измерений ИК-зондировщика высокого спектрального разрешения AIRS КА EOS/Aqua. Выполнен анализ чувствительности спутниковых данных и отобрано подмножество наиболее информативных каналов по отношению к вариациям концентрации CO₂. Предложен и испытан на моделированных и реальных спутниковых данных AIRS метод восстановления общего содержания CO₂ средней и верхней тропосфере. Метод основан на формировании суперканала и последующем построении линейной регрессионной оценки ОС.

Суперканал, представляющий линейную комбинацию нескольких каналов AIRS из спектральной области 2220–2400 см⁻¹, строится таким образом, чтобы вариации сигнала в нем, вызванные вариациями ОС СО₂, превосходили вариации за счет инструментального шума и неопределенностей задания вертикального профиля температуры в пункте спутникового зондирования. Сравнение оценок общего содержания СО₂ в тропосферном слое по реальным данным AIRS над районом бореальных лесов (Новосибирская обл.) для отдельных сроков 2003 г. с данными самолетных (in-situ) наблюдений подтверждает возможность дистанционного мониторинга вариаций тропосферного углекислого газа с погрешностью порядка 4 ppmv.

Retrieval of cloud parameters from backscattered light measurements

Rozanov V. (rozanov@iup.physik.uni-bremen.de), Kokhanovsky A., Vountas M., Burrows J.
Institute of Environmental Physics/Institute of Remote Sensing (iup/ife), University of Bremen, P.O. Box 330440, D-28334, Bremen, Germany

The solar radiation reflected from the Earth atmosphere contains information about numerous microphysical and geometrical characteristic of clouds. Using the satellite measurements of the backscattered radiance in the visible and near infrared spectral ranges, such cloud parameters as optical thickness, average size of droplets and crystals, cloud top height and bottom height as well as the thermodynamic phase of clouds can be retrieved. The look-up table technique usually used for the solution of a such kind of an inverse problem is not flexible enough to be employed for multiple optical instruments with different spectral resolutions and positions of the spectral channels. On the other hand, the numerical solution of the radiative transfer equation is very time consuming for these purposes. Therefore, we use the asymptotic solutions of the radiative transfer theory for the retrieval of cloud microphysical and geometrical characteristics.

After brief presentation of the asymptotic radiative transfer model we show comparisons of the approximate solutions and the numeric solutions of the radiative transfer equation for the different typical cloud scenarios. The application of the suggested asymptotic radiative transfer model to the retrieval of different cloud parameters is illustrated using the measurements performed by the GOME, SCIAMACHY and MODIS. The inter-comparison of the retrieved cloud top heights using the GOME oxygen A-band and ATSR-2 IR cloud retrieval algorithms is demonstrated as well.

Сезонные вариации содержания метана в атмосфере западной Сибири по данным термического зондирования сенсором AIRS со спутника AQUA

Захаров В.И. (vz@uraltc.ru), Грибанов К.Г., Топтыгин А.Ю.

Лаб. глобальной экологии и спутникового мониторинга, физ. фак-т, Уральский государственный университет, пр. Ленина 51, 620083. Екатеринбург, Россия

Имасу Р.

Центр иссл. климатической системы, Университет Токио, 5-1-5, Кашиваноха, Кашива-ши, Чиба 277-8568, Япония

Блойтен В.

Университет Утрехт, Нейделберлаан 2, п/я 80.115, НЛ-3508, ТС Утрехт, Нидерланды

Дюкарев Е.А.

Лаб. физики климатической системы, Институт мониторинга климата и экосистем СО РАН, Академический 10/3, 634021 Томск, Россия

Метан является одним из основных парниковых газов, чрезвычайно быстро накапливающимся в атмосфере Земли. За 20-е столетие количество атмосферного метана

увеличилось в 2 раза. Одним из крупнейших природных источников эмиссии метана в атмосферу является болотная экосистема западной Сибири (60–67 с.ш.; 60–90 в.д.). В этом же регионе сосредоточены крупнейшие объекты газодобывающей и нефтедобывающей промышленности России, являющиеся потенциальными антропогенными источниками эмиссии метана.

В данной работе из спектральных данных AIRS/AQUA с использованием разработанной прямой/обратной модели FIRE-ARMS было получено горизонтальное распределение содержания CH_4 в атмосфере и его сезонные вариации в 2004 и 2005 гг. над субарктической зоной западной части болотной экосистемы Сибири. Метод основывается на предварительном определении профиля температуры из спектров сенсора AIRS, наблюдаемых в условиях чистого неба в интервале $680\text{--}830\text{ см}^{-1}$ полосы поглощения CO_2 . Следующим шагом определяется содержание метана в атмосферном столбе, используя спектральный интервал $1298\text{--}1306\text{ см}^{-1}$. В докладе обсуждаются основные черты этой обратной задачи и оценка ошибки предложенного метода.

Представлены полученные карты горизонтального распределения метана в исследуемом регионе западной Сибири (60–67 с.ш.; 60–90 в.д.) для сезонов 2004 и 2005 годов. Приводятся также соответствующие сезонные карты средне-тропосферного ветра. Наблюдается корреляция горизонтального распределения метана на зимних картах с расположением магистральных газопроводов и локализацией факелов сжигания попутного газа, что позволяет идентифицировать их в качестве основных источников антропогенной эмиссии CH_4 в атмосферу западной Сибири. Из полученных данных сделана оценка чистого вклада болотной экосистемы в атмосферный метан в данном регионе за летний сезон.

Применение регулярных методов решения некорректных обратных задач к проблемам термического зондирования атмосферы аэрокосмическими средствами

Васин В.В. (vasin@imm.uran.ru), Акимова Е.Н., Пересторонина Г.Я., Тимерханова Л.Ю.
Институт математики и механики УрО РАН, ул. С. Ковалевской 16, 620219 Екатеринбург, Россия

Грибанов К.Г., Захаров В.И.

Лаборатория глобальной экологии и спутникового мониторинга, физ. фак-т, Уральский государственный университет, пр. Ленина 51, 620083 Екатеринбург, Россия

В связи с вступлением в силу Киотского протокола, проблема глобального мониторинга парниковых газов в атмосфере и определения основных источников их эмиссии и стоков становится актуальной. Разрабатываемые современные средства и методология термического зондирования Земли из космоса являются перспективными для систем контроля эмиссии парниковых газов в атмосферу. Запускаемые на полярные орбиты современные спутниковые сенсоры, такие как IMG на спутнике ADEOS (1996), AIRS на спутнике AQUA (2002), TES на спутнике AURA (2004) и аналогичные будущие сенсоры представляют значительные потенциальные возможности для решения задач по определению вертикальных профилей температуры и концентраций парниковых газов.

В ИММ УрО РАН были разработаны регулярные методы решения некорректных обратных задач и их приложения к обратным задачам гравиметрии и магнитометрии. В данной работе эти методы решения некорректных обратных задач рассматриваются применительно к проблеме определения вертикальных профилей температуры из эмиссионных спектров высокого спектрального разрешения, получаемых при аэрокосмическом зондировании атмосферы в надиr современными сенсорами.

Для проведения вычислительных экспериментов по тестированию методов ставилась задача определения вертикального профиля температуры в атмосфере из синтетических спектров сенсоров типа IMG. Синтетические спектры рассчитывались для условий наблюдения в надиr безоблачной слабо-аэрозольной атмосферы с использованием прямой

line-by-line модели из программного пакета FIRE-ARMS с последующей сверткой спектра высокого разрешения с аппаратной функцией сенсора IMG и добавлением его шумовых характеристик. Для задачи определения вертикального профиля температуры от поверхности до 70 км использовался спектральный интервал $680\text{--}830\text{ см}^{-1}$ полосы CO_2 . Проведенные вычислительные эксперименты продемонстрировали хорошую сходимость методов к искомому профилю температуры (известному решению) из различных начальных состояний. Максимальная ошибка по всему профилю составила величину около 1 градуса.

Апробация методов на натурных данных была проведена с использованием эмиссионных спектров атмосферы, измеренных над водной поверхностью в эксперименте VIRTEM при подъеме самолета до высоты около 7 км с одновременным измерением вертикального профиля температуры и влажности. Показано, что данные методы решения обратной задачи хорошо воспроизводят измеренный профиль температуры, исходя из различных начальных состояний и из измеренного спектра.

Широтное распределение тяжелой воды в атмосфере, полученное из данных термического зондирования сенсором IMG/ADEOS

Захаров В.И. (vz@uraltc.ru), Топтыгин А.Ю., Грибанов К.Г.

Лаб. глобальной экологии и спутникового мониторинга, физ. фак-т, Уральский государственный университет, пр. Ленина 51, 620083. Екатеринбург, Россия

Имасу Р.

Центр исследования климатической системы, Университет Токио, 5-1-5, Кашиваноха, Кашива-ши, Чiba 277-8568, Япония

Шмидт Г.

НАСА, Институт космических исследований им. Годдарда, 2880, Бродвэй, Нью-Йорк, 10025, США

Наблюдаемые вариации дейтерия в атмосфере вызваны фракционированием изотопов в процессах испарения и конденсации. Фракционирование изотопов при переходе водяного пара в жидкую фазу и обратно приводит к уменьшению относительного содержания тяжелых изотопов в газовой и увеличению в жидкой фазах воды. Поскольку атмосферная часть гидрологического цикла представляет собой перенос воды из океана на континенты, то локальное содержание отношения $\text{HDO}/\text{H}_2\text{O}$ в атмосферном водяном паре отражает, до некоторой степени, предысторию выпадения осадков для воздушных масс по пути их движения от океана к континентам. Таким образом, HDO являются удобным трассером при изучении глобальной циркуляции атмосферы. Изучение связей между изотопным составом водяного пара в воздухе и климатическими условиями необходимо для развития таких областей как физика облаков, климатология, гидрология и палеоклиматология.

В данной работе рассматривается метод определения высотных профилей относительного содержания HDO к H_2O в атмосфере при термическом зондировании Земли из космоса с высоким спектральным разрешением, основанный на разложении искомого профиля по собственным векторам ковариационной матрицы профилей, полученных с помощью изотопной модели общей циркуляции атмосферы. Априорная информация, содержащаяся в ковариационной матрице модельных профилей, позволяет частично компенсировать недостаток информации в весовых функциях HDO для нижнего атмосферного слоя 0–1 км и выше 10 км. В качестве входных данных в методе используются спектры уходящего теплового излучения атмосферы с высоким спектральным разрешением, наблюдаемые в надир Фурье спектрометрами спутникового базирования.

Для апробации метода были использованы спектры IMG/ADEOS над океаном, измеренные в условиях чистого неба. В результате получено широтное распределение вертикального профиля $\text{HDO}/\text{H}_2\text{O}$ и относительное содержание тяжелой воды во всем атмосферном столбе над Тихим океаном от 70 ю.ш. до 70 с.ш. Полученные значения относительного содержания тяжелой воды в атмосфере и характер его широтного

распределения согласуются с известными в литературе данными об изотопном составе атмосферного водяного пара.

Спутниковые измерения общего содержания озона и NO₂ аппаратурой OMI (спутник AURA): оценки точности на основе сопоставлений с данными наземных измерений

Ионов Д.В. (ionov@troll.phys.spbu.ru), Тимофеев Ю.М.

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

Шаламянский А.М.

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

Гутайл Ф., Поммеро Ж.-П.

Служба аэронамики, Национальный центр научных исследований, Франция

Синяков В.П., Семенов В.К.

Киргизский национальный университет, Фрунзе 547, 720033 Бишкек, Киргизия

Основная информация о глобальном распределении содержания озона поступает сейчас со спутниковых систем измерений, установленных на околополярных солнечно-синхронных орбитах. Наиболее длинный ряд (начиная с 1978 года) практически непрерывных ежедневных измерений накоплен аппаратурой TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer), с 1996 года постоянно действующей на спутнике EarthProbe. Кроме того, в 1995 году начал работать прибор GOME (Global Ozone Monitoring Experiment), запущенный на борту европейского спутника ERS-2. GOME стал первым сканирующим прибором, позволяющим осуществлять, наряду с озоном, глобальное картирование общего содержания (ОС) ряда других газовых составляющих, и в первую очередь – двуокиси азота (NO₂). Позднее, в 2002 году был запущен аналогичный по геометрии и принципу измерений ОС озона и NO₂ аппарат SCIAMACHY (SCanning ImAging spectroMeter for Atmospheric CHartographY), установленный на европейском спутнике ENVISAT. Наконец, в 2004 году состоялся запуск американского спутника AURA, на борту которого в числе прочих установлен прибор OMI (Ozone Monitoring Experiment). В ближайшие годы планируются также запуски аналогов аппаратуры GOME – GOME-2, на серии спутников EPS-MetOp (ближайший запуск запланирован на июнь 2006 года).

До последнего времени данные измерений спутниковой аппаратуры TOMS характеризовались высокой точностью и активно использовались как для оценок долговременных трендов ОС озона, так и для валидации новой спутниковой аппаратуры. Однако, начиная с середины 2002 года, деградация оптических элементов прибора начала существенно сказываться на его работе и привела к появлению дополнительных ошибок в измерениях ОС озона, которые не удалось устранить даже в новой версии оперативной обработки. Эти ошибки приводят к систематическому занижению ОС озона в средних и высоких широтах (2–4%). Так, если по результатам сопоставлений данных TOMS (версия 7) с наземными измерениями на 17 станциях российской озонметрической сети (фильтровый озонметр М-124) в 1996–2001 гг. среднее расхождение составило 0.3%, то в период 2004–2005 гг. это расхождение возросло до 3.3%. Начиная с 2002 года, данные TOMS официально не рекомендовано использовать для анализа долговременных трендов озона, а с 2006 г. их распространение прекращено, уступив место данным измерений новой аппаратуры OMI. По результатам сопоставлений данных OMI с измерениями на сети станций М-124 в 2004–2005 гг., среднее расхождение составило 0.01% (для данных аппаратуры GOME и SCIAMACHY аналогичные оценки составили 1.3% и 1.4%, соответственно).

Нами были также проведены сопоставления данных OMI об ОС NO₂ с результатами наземных измерений на станции Иссык-Куль в Киргизии (измерения рассеянного в зенит

солнечного излучения), а также с данными аналогичных наблюдений на сети станций французской аппаратуры SAOZ (Système d'Analyse par Observation Zenithales). Для учета суточных вариаций ОС NO₂ все спутниковые измерения были приведены, с помощью фотохимической модели, ко времени восхода Солнца. После пересчета, спутниковые данные согласуются с результатами наземных измерений на восходе в пределах $0.5 \cdot 10^{15}$ мол/см² (или 18%). Нужно отметить, что эти оценки справедливы для измерений в районах без тропосферного загрязнения – расхождения с измерениями на таких станциях, как ОНР (Observatoire de Haute Provence) во Франции или Звенигород и Санкт-Петербург в России могут быть существенно больше.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Минобрнауки РФ (грант Президента РФ МК-5390.2006.5 и РНП.2.1.1.4166) и Правительства Санкт-Петербурга (PD05-1.5-46, PD06-1.5-5).

Зондирование атмосферы с помощью спутниковых измерений прибора SAGE III: сравнения с независимой интерпретацией, измерениями и численным моделированием

Поляков А.В. (alexandr@AP13786.spb.edu)

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

Тимофеев Ю.М., Чайка А.М.

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

Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена, Санкт-Петербург, Россия

Rozanov E.

Institute for Atmospheric and Climate Science, ETH, Zurich, and PMOD/WRC, Davos, Switzerland

Schraner M.

Institute for Atmospheric and Climate Science, ETH, Zurich, Switzerland

Egorova T., Schmutz W.

PMOD/WRC, Davos, Switzerland

Проведена интерпретация данных измерений функций пропускания атмосферы на касательных трассах с помощью прибора SAGE III в ходе космического российско-американского эксперимента на МИСЗ "Метеор-ЗМ No.1". Разработанный в СПбГУ алгоритм интерпретации основан на:

- методе статистической регуляризации, примененном к решению нелинейной обратной задачи;
- одновременном восстановлении всех искоемых параметров (вертикальных профилей содержания озона, двуокиси азота, спектрального коэффициента аэрозольного ослабления (СКАО));
- использовании в качестве входной информации функций пропускания, а не оптических толщин, как в оперативной системе обработке НАСА;
- использовании оптимальной параметризации СКАО стратосферного аэрозоля на основе статистического моделирования;
- строгом учете спектральных и угловых характеристик прибора.

Проведены сравнения результатов восстановления по методике СПбГУ и методике НАСА. Профили озона, восстановленные по двум независимым методикам хорошо согласуются на высотах 15–50 км (в пределах 3–8%). Выше и ниже этого слоя методики дают отличия, достигающие десятков процентов. Обсуждаются возможные причины расхождений.

Проведено сопоставление восстановлений содержания озона по методике СПбГУ с озонзондовыми, лидарными и спутниковыми измерениями (приборы HALOE, POAM III,

CRISTA), показавшее высокое качество спутниковых измерений в средней и верхней стратосфере. В нижней части стратосферы и верхней тропосфере отличие между восстановлениями СПБГУ и независимыми измерениями могут достигать десятков процентов.

Проведен анализ пространственно-временных вариаций содержания озона, а также интегральных параметров стратосферных аэрозолей (площадей и объемов частиц). Поля содержания озона, восстановленные по спутниковым измерениям, сравниваются с результатами численного моделирования с помощью трехмерной модели SOKOL. Анализируются наблюдающиеся расхождения между измерениями и результатами моделирования.

Исследования проведены при частичной финансовой поддержке РФФИ (гранты 05-05-65305, 06-05-64909) и Минобрнауки РФ (гранты РНП.2.1.1.4166 и РНП. 2.2.1.1.3836).

Стратосферный аэрозоль по данным измерений аппаратуры SAGE III

Чайка А.М., Тимофеев Ю.М.

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

Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена, Санкт-Петербург, Россия

Поляков А.В. (alexandr@AP13786.spb.edu)

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

Проведена обработка данных измерений спектрального коэффициента аэрозольного ослабления, осуществленных спутниковой аппаратурой SAGE III с начала функционирования (27 февраля 2002 года) по 31 декабря 2005 года. Из высотных профилей коэффициента аэрозольного ослабления в 9 спектральных каналах (данные SAGE III уровня 2) были получены высотные профили удельной интегральной площади поверхности S и объема аэрозольных частиц V . Для решения этой обратной задачи использовался метод множественной линейной регрессии. Оператор решения обратной задачи построен с помощью статистических моделей стратосферного аэрозоля. Сравнение результатов восстановления с данными независимых измерений (в первую очередь это зондовые измерения, выполненные Университетом штата Вайоминг, США) показали хорошее согласие спутниковых и локальных измерений.

Изучены пространственно-временные вариации интегральных характеристик микроструктуры фонового стратосферного аэрозоля. Особое внимание при анализе уделено двум высотным слоям – 15–20 и 20–25 км, в которых содержится основная масса стратосферного аэрозоля. Показано наличие сезонных, широтных и долготных вариаций различного типа. По данным, накопленным за первый год работы аппаратуры SAGE III, пределы изменчивости S в рассмотренных высотных слоях составляют – 0.28–1.53 мкм²/см³, а V – 0.015–0.119 мкм³/см³. Долготные вариации S и V могут быть различного вида и величины, от достаточно малых до 100 и более процентов.

Исследования проведены при поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований (гранты 05-05-65305 и 06-05-64909) и Министерства образования и науки Российской Федерации (гранты РНП.2.1.1.4166, РНП.2.2.1.1.3836).

Восстановление компонент радиационного баланса подстилающей поверхности Антарктиды по данным спутникового зондирования

Пичугин Ю.А., Синькевич А.А. (sinkev@main.mgo.rssi.ru), Пивоварова Л.В.,
Довгалюк Ю.А., Пичугина И.П.

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

Представлены результаты расчётов суммарной солнечной радиации, альbedo и радиационного баланса для Антарктиды, восстановленных по данным спутникового зондирования по методике, разработанной в ГГО им. Воейкова. Измерения проводились радиометром СКАРАБ со спутника Метеор-3/7 в течение года, с марта 1994 г. по февраль 1995 г. В расчётах использованы измерения уходящей коротковолновой радиации в нескольких спектральных диапазонах, дополнительная спутниковая информация – зенитный угол Солнца и угол визирования, широта и долгота пикселя, время измерения, а также информация о температуре и влажности воздуха по наземным данным российских метеостанций в Антарктиде.

Для совершенствования расчётной методики и уточнения значений параметров радиационного баланса были определены коэффициенты угловой анизотропии отражения и асимметрии визирования подстилающей поверхности со спутника в диапазоне зенитных углов Солнца 50–80° и построены индикатрисы этих коэффициентов для подстилающей поверхности Антарктиды – снежного покрова.

Необходимое для расчётов составляющих радиационного баланса распознавание облачности со спутника на фоне снежной поверхности осуществлялось с помощью сравнительного анализа данных разных каналов радиометра.

Построены карты среднемесячных значений составляющих радиационного баланса Антарктиды с учётом сезонных факторов.

Восстановление двумерного распределения концентрации МГС по данным затменного спутникового зондирования в оптическом диапазоне

Савельева Н.В. (nasa2000@yandex.ru), Куницын В.Е.

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, каф. физики атмосферы, физ. фак.,
ул. Лебедева 2, Москва, Россия*

Построена компьютерная модель, задачей которой является имитация эксперимента по дистанционному зондированию атмосферы со средне-орбитального спутника в оптическом диапазоне длин волн. В эксперименте измеряется интенсивность потока излучения от внеатмосферного протяженного источника (солнечный или лунный диск) вне атмосферы и прошедшего через атмосферу. По данным измерений вне и в атмосфере рассчитывается интегральное поглощение как функция положения спутника и угла, характеризующего направление прибора на объект.

Движение спутника по орбите во время эксперимента приводит к тому, что доступная для исследования область атмосферы "просвечивается" с различных направлений. Данный факт можно использовать для получения информации о горизонтальной структуре распределения МГС, используя соотношения, связывающие объемный коэффициент поглощения, сечение поглощения и концентрацию МГС.

Решается обратная задача восстановления оптической толщины $\tau(r, \xi)$ атмосферы в области сечения атмосферы плоскостью орбиты спутника. Координаты (r, ξ) – это координаты точки в полярной системе координат в плоскости орбиты спутника. Зная сечение поглощения МГС и предполагая, что рассеяние является релеевским, мы можем преобразовать распределение экстинкции $\tau(r, \xi)$ в распределение счетной концентрации $n(r, \xi)$, а используя дополнительные данные о давлении и температуре атмосферы – в распределение плотности или парциального давления МГС.

Исходная система интегральных уравнений $T_i(\varphi_n, \xi_{sat}) = \int_{L_i} \tau(l) dl$ аппроксимируется

системой линейных уравнений, решение которой ищется итеративными методами. Здесь T – интегральная оптическая толщина столба воздуха вдоль траектории луча в атмосфере, i – номер измерения, L – кривая, описывающая траекторию луча в атмосфере, l – координата вдоль траектории луча, φ_n – параметр, описывающий на какую точку Солнца направлен центр лучевой трубки, ξ_{sat} – координата спутника. Итерации проводятся циклически. В качестве начального приближения в первом цикле выбирается решение, полученное с помощью преобразования Абеля, для случая сферически-симметричной атмосферы. Задачей первого цикла является поиск первой производной по горизонтальной координате. Полученное решение используется в качестве исходного в следующем цикле. Задачей каждого последующего цикла является поиск более высоких производных по горизонтальной координате.

Количество циклов может варьироваться от трех до десяти, в зависимости от сложности модели. Метод был протестирован на нескольких моделях распределений МГС, от простейших, где от нуля отлична только первая производная, до более сложных, где существуют и отличные от нуля производные порядка 10 и более. Приводятся результаты моделирования и анализа ошибок реконструкции.

Опыт атмосферной коррекции спутниковых ИК-изображений подстилающей поверхности, полученных с помощью ETM+/Landsat 7

Белов В.В. (belov@iao.ru), Афонин С.В., Соломатов Д.В.

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

В научной литературе содержится достаточно большой объем данных по изучению различных аспектов атмосферной коррекции спутниковых изображений подстилающей поверхности и результатов её проведения на практике. Для общеизвестных коммерческих программных продуктов ERDAS и ENVI, предназначенных для обработки спутниковых данных, разработаны соответствующие программные блоки; для одного из наиболее современных спектрорадиометров среднего пространственного разрешения EOS/MODIS разработаны штатные средства атмосферной коррекции измерений. Несмотря на это, построение эффективных программных блоков атмосферной коррекции, комплексно учитывающих с требуемой точностью все искажающие факторы, и сейчас является актуальной задачей.

В качестве основы разработанного в ИОА СО РАН программного обеспечения (ПО) атмосферной коррекции аэрокосмических изображений подстилающей поверхности может быть использован один из пакетов программ, хорошо зарекомендовавших себя в решении задач моделирования переноса оптического излучения через атмосферу, например, LOWTRAN, MODTRAN, 6S и т.п. Для первой версии ПО был выбран пакет программ LOWTRN-7. Интерфейс ПО написан на языке С. Программное обеспечение функционирует в операционных системах WINDOWS 98/2000/XP.

Проведение атмосферной коррекции спутниковых ИК-измерений температуры подстилающей поверхности (ТПП) базируется на использовании оптических моделей атмосферы и априорной информации, описывающей реальное оптико-метеорологическое состояние атмосферы в момент аэрокосмических наблюдений. В качестве одного из источников априорной информации могут быть с успехом использованы спутниковые метеоданные и данные о характеристиках подстилающей поверхности, полученные со спутников NOAA и EOS. В работе дано краткое описание процедуры применения спутниковых данных MODIS в качестве априорной информации для атмосферной коррекции ИК-измерений ТПП. Приведено описание общей схемы работы ПО.

В качестве тестовых примеров, демонстрирующих результаты работы ПО, была проведена атмосферная коррекция спутниковых изображений двух тестовых участков земной поверхности (файл p177r015_7k20020601_z38_nn61.tif), полученных 1 июня 2002 года прибором ETM+ со спутника Landsat 7. В качестве априорной информации была использована спутниковая информация MODIS Atmosphere (Land) Products за 01.06.2002 г. (время = 08:35 GMT), территориально покрывающая заданные участки земной поверхности и соответствующая времени измерений, выполненным с помощью прибора ETM+.

Ниже (в таблице) приведены данные, характеризующие результаты атмосферной коррекции спутниковых ИК-изображений тестовых участков. Основные выводы, вытекающие из анализа результатов атмосферной коррекции тестовых спутниковых изображений, заключаются в следующем. Искажающее влияние атмосферы на спутниковые ИК-измерения ТПП достаточно велико и достигает в рассмотренных случаях величины в среднем более 3°. Несмотря на относительно небольшие линейные размеры участков (менее 50 км), величина температурной поправки имеет значительный диапазон варибельности, достигающий 5–6°, хотя СКО при этом составляет всего около 0.5°.

Статистические данные для измеренной радиационной температуры T_λ и температуры T_s , восстановленной после атмосферной коррекции

Участки	T_{λ}		T_s		T_s-T_{λ}	
Режим - Low gain						
1	287.04	2.18	290.44	2.63	3.39	0.46
	272.83	298.52	272.95	304.28	0.12	5.76
2	288.42	2.95	291.99	3.46	3.57	0.54 1.98
	280.14	301.48	282.12	308.22	6.74	
Режим - High gain						
1	287.05	2.17	290.46	2.62	3.40	0.46 0.20
	273.15	298.79	273.36	304.53	5.76	
2	288.43	2.94	291.99	3.44	3.57	0.53
	280.23	301.26	282.24	307.94	2.01	6.69

*В первой строке таблицы – среднее значение и СКО температур;
во второй строке – минимальное и максимальное значение температур.*

В целом результаты работы позволяют сделать главное заключение о необходимости проведения атмосферной коррекции спутниковых ИК-измерений ТПП с привлечением адекватной априорной информации об оптико-метеорологическом состоянии атмосферы в момент аэрокосмических измерений и надежных расчетных моделей учета искажающего влияния атмосферы на результаты аэрокосмического температурного мониторинга подстилающей поверхности.

Работа поддержана Госконтрактом 02.438.11.7008.

Определение характеристик поля ветра в атмосфере по данным многоволнового зондирования с геостационарных спутников

Нерушев А.Ф. (nerushev@typhoon.obninsk.ru), Крамчанинова Е.К.
Институт экспериментальной метеорологии, пр. Ленина, 82, 249038 Обнинск, Россия

Соловьев В.И. (solovjev@planet.iitp.ru)
НИЦ "Планета", Б. Предтеченский пер. 7, 123242 Москва, Россия

Определение глобальных и региональных полей ветра, без которых невозможен прогноз погоды, расчет переноса загрязняющих атмосферу примесей, прогноз движения штормов и ураганов, является одной из важнейших практических задач, решаемых с помощью дистанционных спутниковых методов измерений.

Излагается метод определения динамических характеристик атмосферы по спутниковым снимкам, основанный на использовании в качестве трассеров неоднородностей поля концентрации консервативной примеси и применении корреляционно-экстремальных алгоритмов. Метод позволяет определять не только вектор горизонтальной скорости ветра V , но и завихренность ($\text{rot } V$) и коэффициент горизонтальной турбулентной диффузии (KD). Нахождение динамических характеристик атмосферы можно рассматривать как двумерную обратную задачу статистического анализа случайного поля.

С помощью указанного метода проведены расчеты динамических характеристик атмосферы по данным о собственном излучении атмосферы, принимаемом в каналах 6.2 мкм и 7.3 мкм водяного пара (5.35–7.15 мкм и 6.85–7.85 мкм) радиометра SEVIRI европейского геостационарного спутника MSG (Meteosat Second Generation). Рассмотрен вопрос о выборе пространственных размеров рабочего "окна" – оператора H , с помощью которого осуществляется пространственное сканирование спутникового снимка и выделение рассматриваемых областей. Приведены оценки точности расчета модуля V и KD при разных линейных размерах H . Показано, что удовлетворительную точность расчетов обеспечивает оператор H с линейным размером $\sim (40\text{--}100)$ пикселей.

Приведены сравнения рассчитанных значений полей горизонтальной скорости ветра в узлах регулярной сетки $2.5\cdot 2.5$ градуса с данными объективного анализа на различных атмосферных уровнях. Оценены точности определения поля скорости ветра при различном характере атмосферных движений. Определены области, в которых скорость временной эволюции поля водяного пара (V_{te}) больше модуля скорости горизонтального ветра ($|V|$), т.е. процессы турбулентного переноса преобладают над процессами направленного переноса. Анализируется пространственно-временное распределение рассчитанных значений коэффициента турбулентной диффузии KD , в том числе и для областей с $V_{te} > |V|$.

Предлагаемый метод может быть применен для исследования по данным спутникового зондирования характеристик атмосферных движений как глобального, так и регионального масштаба. В частности, для исследования мезомасштабных процессов (фронты, ураганы, тропические циклоны, кластеры). При этом при наличии данных зондирования атмосферы на нескольких длинах волн может быть определена вертикальная компонента скорости ветра в атмосфере (w). В частности, по данным зондирования на длинах волн 6.2 мкм и 7.3 мкм (каналы водяного пара) может быть восстановлена w в слое 300–500 гПа. Это потребует решения уже не двумерной, а трехмерной обратной задачи статистического анализа случайного поля.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (код проекта 06-05-64317).

Исследование особенностей сезонной и межгодовой динамики лимнических процессов в Ладожском озере методом синергетического дистанционного зондирования

Коросов А.А. (anton.korosov@niersc.spb.ru), Поздняков Д.В., Руховец Л.А., Ионов В.В.
НФ "Международный центр по дистанционному зондированию и окружающей среде", 14 линия В.О. 7а, 199034
Санкт-Петербург, Россия

Для обработки спутниковых изображений водной поверхности разработана специальная процедура временной интерполяции для получения непрерывных рядов данных высокого пространственного разрешения в условиях частичного экранирования облачностью подстилающей поверхности. Разработанный нами ранее алгоритм восстановления параметров качества воды использовался для обработки космических снимков в видимом диапазоне. Использовался алгоритм ИКИ РАН для восстановления температуры поверхности воды (ТПВ). По данным SeaWiFS и AVHRR за период 1998–2004 гг. получены, проанализированы и вскрыты причинно-следственные связи формирования полей распределения концентраций хлорофилла фитопланктона (хл), минеральной взвеси (мв) и

растворенного органического вещества (ров), а также температуры поверхности воды (ТПВ) по акватории Ладожского озера (ЛО).

Впервые по данным дистанционного зондирования исследована зависимость скорости перемещения термобара от времени года и района озера. Показано, что с прогревом ЛО ареалы повышенной концентрации хл перемещаются на север вдоль восточного побережья, следуя особенностям рельефа дна. Выявлена и интерпретирована межгодовая изменчивость полей хл и ТПВ. Для валидации данные дистанционных измерений ТПВ и концентраций хл сравнивались с результатами гидродинамической модели ЛО разработанной в ЭМИ РАН.

Нейросетевое прогнозирование динамики озонового слоя

Сакаш И.Ю. (Stella93@yandex.ru)

Сибирский государственный технологический университет, пр. Мира 82, 660049 Красноярск, Россия

Ланкин Ю.П. (lan7@mail.ru)

Институт биофизики СО РАН, Академгородок, 660036 Красноярск, Россия

Атмосфера является сложно структурированной, неравновесной, высокодинамичной средой. Она поддерживает не только свою собственную устойчивость (как целостное системное образование), но и активно взаимодействует с биосферой, являясь средой обитания живых организмов. Поэтому изучение и моделирование атмосферных процессов представляет задачу высокой сложности, которая плохо поддается решению традиционными методами моделирования. Комплекс проведенных ранее исследований позволил сделать вывод о перспективности моделирования динамики ОСО с использованием нейронных сетей для отдельных точек озоносферы. Данная работа посвящена оценке возможности построения планетарной модели озонового слоя Земли на базе нейросетевых методов. С этой целью построен ряд моделей динамики озонового слоя Земли над различными точками земной поверхности. Географические точки для построения прогнозных моделей в различных районах планеты выбирались с учетом различия атмосферных условий в этих районах, что позволило охватить широкий спектр динамических характеристик озоносферы.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о перспективности предложенных методов для построения планетарных моделей озонового слоя Земли. В исследованиях использовались данные о глобальном содержании озона в атмосфере с сайта НАСА <ftp://toms.gsfc.nasa.gov/pub/eptoms/data/>, получаемые со спутника EP/TOMS прибором TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer).

К вопросу о выборе оптимальных измерительных каналов в ИК-области при определении со спутников параметров атмосферы и подстилающей поверхности

Чавро А.И. (chavro@inm.ras.ru)

Институт вычислительной математики РАН, ул. Губкина 8, 119991 Москва, Россия

Уваров Н.В.

Московский физико-технический институт, ул. Губкина 8, 119991 Москва, Россия

В настоящее время для получения глобальной информации о метеопараметрах атмосферы и характеристиках подстилающей поверхности используется высокочувствительная радиометрическая аппаратура, регистрирующая собственное уходящее излучение поверхности и атмосферы Земли в широкой области спектра – от ультрафиолетовой до дальней ИК и СВЧ областей. В основе многочисленных методов дистанционного зондирования лежит тот факт, что поле уходящего излучения Земли несет разнообразную информацию о параметрах атмосферы и подстилающей поверхности, более

того, излучение в разных участках спектра несёт также информацию о вертикальных профилях метеорологических параметров. Поэтому, в задачах дистанционного зондирования выбор оптимальных спектральных каналов, регистрирующих уходящее излучение имеет решающее значение.

Как правило, основные параметры измерительной аппаратуры – количество, и положение спектральных каналов измерений – выбираются на основе анализа "весовых функций" [1], характеризующих информативность каналов по отношению к различным слоям атмосферы, что позволяет выбирать наиболее информативные измерительные каналы. Следует отметить, что в большинстве работ осуществляется последовательный выбор небольшого числа каналов измерений из первоначальной относительно большой совокупности каналов с фиксированным спектральным разрешением.

Однако в настоящее время существуют методы расчета оптимальных условий измерений уходящего излучения, основанные на определенных количественных характеристиках информативности [2, 3], применение которых позволяет получать максимально возможную точность решения обратных задач при доступном количестве измерений.

В данной работе для восстановления профилей температуры и влажности, температуры поверхности океана и скорости приводного ветра моделировался спектр излучения, регистрируемый прибором IASI, устанавливаемом на спутники серии METOP (EUMETSAT), и рассчитывался оптимальный набор спектральных каналов измерений уходящего излучения в области $480\text{--}770\text{ см}^{-1}$ для восстановления профиля температуры, $1210\text{--}1650\text{ см}^{-1}$ для восстановления профиля влажности, $817\text{--}822\text{ см}^{-1}$ и $892\text{--}894\text{ см}^{-1}$ для восстановления температуры поверхности.

Профили температуры и влажности восстанавливаются с точностью $\sim 1\text{ К}$, $\sim 13\%$, соответственно, а температура поверхности $\sim 0.35\text{ К}$.

1. Кондратьев К.Я., Тимофеев Ю.М. *Метеорологическое зондирование атмосферы из космоса*. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 280 с.
2. Козлов В.П. Об одной задаче оптимального планирования статистического эксперимента. *Теория вероятности и ее применения*, 1974, **19**, 226–230.
3. Покровский О.М. *Оптимизация метеорологического зондирования атмосферы со спутников*. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 264 с.

Этапы имитационного "эталонирования" в подспутниковом эксперименте

Смокий О.И. (soi@iias.spb.su)

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

Гусейнов Г.А. (galib@mail.ru)

Азербайджанское национальное аэрокосмическое агентство, Баку, Азербайджан

Рассмотрена задача оптимизации планов измерений в зависимости от требуемого уровня информативности данных дистанционного оптического зондирования системы "атмосфера–подстилающая поверхность". Поэтапная структура "эталонирования" дистанционных измерений оптических параметров атмосферы (индикатрисы рассеяния, оптической толщины, альбедо), очевидно, включает решения прямой и обратной задач и может строиться на базе критериев MV– и D–оптимальности.

1. Приводятся результаты расчетов в таблицах и кривых оптимальных планов по аппроксимации индикатрисы Фурье-рядами полиномов Лежандра, представленных в качестве базисных вектор-функций оцениваемого регрессионного ряда. Первый этап "эталонирования" состоит в получении характеристик исходного спектра плана в нулях полинома Лежандра, соответствующего максимальной степени многочлена оцениваемой

регрессии. Данный спектр плана оптимизирует функционал, соответствующий выбранному критерию оптимальности.

2. На втором этапе "эталонирования" с помощью оптимального выбора параметра регуляризации уточняются спектры планов измерений и оцениваемые параметры индикатрисы с учетом приборного усреднения и ошибок аппроксимации. Кривые чувствительности иллюстрируют зависимость функции невязки от параметра регуляризации, по которым оцениваются оптимальные области чувствительности и области "безразличия", а также, соответственно, общая информативность, определяемая шагом дискретизации измерений (вычислений) и дисперсией в точках (узлах сетки)

3. На третьем этапе отработанная процедура имитации расширяется введением уточняющей план функции эффективности, получаемой из подспутниковых многоуровневых (наземных, самолетных) экспериментов, которая несет в себе эмпирическую информацию о пространственно-угловых распределениях регистрируемой интенсивности рассеянного излучения и служит по сути основой для выбора весовых предпочтений в оцениваемых спектрах плана оптических измерений.

4. Аналогично проводится "эталонирование" дистанционных измерений оптических параметров на примере задачи оценивания функции распределения для аэрозольной атмосферы. Формулируется задача "эталонирования" с учетом оптических параметров отражения подстилающей поверхности, включая факторы анизотропии и рельефа с рассмотрением характерных типов индикатрис отражения.

Валидация полярных алгоритмов восстановления влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков над Арктическим океаном по данным AMSR-E радиометра

Заболотских Е.В. (elizaveta.zabolotskikh@niersc.spb.ru), Митник Л.М., Бобылев Л.П.
НФ "Международный центр по дистанционному зондированию и окружающей среде", 14 линия В.О. 7 офис 49,
199034 Санкт-Петербург, Россия

Измерения уходящего микроволнового излучения системы Океан-Атмосфера при помощи спутниковых радиометров дают возможность оценивать такие интегральные параметры атмосферы как ее влагосодержание Q и водосодержание облаков W . Водяной пар, являясь одним из основных парниковых газов, оказывает огромное влияние на климат Земли в целом и Арктики в частности. Изучение арктической климатологии водяного пара станет возможным при наличии эффективных региональных (полярных) алгоритмов интерпретации микроволновых измерений.

В данном исследовании рассматриваются полярные алгоритмы определения Q и W по данным радиометра AMSR-E, основанные на применении Нейронных Сетей (НС). Алгоритмы разработаны на основании численного моделирования. Значения радиоярких температур получаются путем расчета уходящего излучения системы Океан-Атмосфера без осадков с использованием гидрометеорологических данных для полярных районов. Данные значения рассматриваются как квази-измеренные радиометром и используются для настройки НС. Теоретические погрешности восстановления параметров рассчитываются путем применения настроенных НС к независимому набору радиоярких температур (так же рассчитанных и суммированных с шумами радиометра) и сравниваются с ошибками, полученными путем применения альтернативного алгоритма множественной нелинейной регрессии.

Валидация разработанных алгоритмов проводится путем сопоставления восстановленных значений влагосодержания атмосферы с 400 данными радиозондирования двух норвежских станций Jan Mayen и Bjornoуа за периоды январь и июль 2005 года. Пространственно-временное совмещение и сравнение спутниковых и наземных измерений осуществлено с привлечением анализа полей параметров и временного развития погодных

систем в районе указанных станций. Экспериментально рассчитанная ошибка восстановления влагосодержания атмосферы равна 1.07 кг/м^2 .

Анализ изменения высоты Гренландского ледникового покрова при совместном использовании данных измерений альтиметров со спутников ERS-1 и ERS-2

Хворостовский К.С. (kirill.khvorostovsky@niersc.spb.ru), Йоханнессен О.М., Бобылев Л.П.
НФ "Международный центр по дистанционному зондированию и окружающей среде", 14 линия В.О. 7 офис 49,
199034 Санкт-Петербург, Россия

Для изучения изменения высоты Гренландского ледникового щита использовались данные измерений радиоальтиметров со спутников ERS-1 и ERS-2 с 1992 по 2003 гг. Исследование пространственного распределения изменения высоты, а также ее сезонных колебаний для всей территории ледникового покрова было проведено с помощью методов, основанных на использовании разницы высот в точках пересечения орбит спутников. Также разработан и применен метод учета систематической ошибки разности высот, измеренных с разных спутников, позволивший провести совместный анализ данных спутников ERS-1 и ERS-2.

Для внутренних районов Гренландии с высотой поверхности более 1500 м наблюдается увеличение высоты в среднем на $6.4 \pm 0.2 \text{ см/год}$ в отличие от предыдущих исследований, показывающих, что ледник в этой зоне находится в состоянии баланса. Для высот менее 1500 м скорость изменения высоты составляет $-2.0 \pm 0.9 \text{ см/год}$, что качественно соответствует другим результатам, также выявившим уменьшение высоты в приграничных районах ледникового щита.

В целом для всего Гренландского ледникового щита за исследуемый период наблюдается изменение высоты со скоростью $5.4 \pm 0.2 \text{ см/год}$, что, с учетом изостатического поднятия подстилающей поверхности, соответствует увеличению толщины покрова на $\sim 5 \text{ см/год}$. Положительный тренд изменения высоты в высоких внутренних районах преимущественно отражает изменения аккумуляции снега, тогда как отрицательный тренд в низких районах – увеличение абляции вследствие летнего таяния. Получено хорошее соответствие межгодовых колебаний высоты и аккумуляции снега во внутренних районах ледника.

Показано также наличие отрицательной корреляции между изменением высоты поверхности и индексом Северо-Атлантического колебания в зимние месяцы, что выявило преобладающее значение Исландского барического минимума для баланса массы Гренландского ледникового щита в данный сезон.

Флуктуации сигналов радиомаяков GPS на касательных трассах в неоднородной нижней атмосфере Земли

Илюшин Я.А. (rx3ahl@mail.ru), Селезнева О.Н.
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, каф. физики атмосферы, физ. фак.,
Воробьевы горы, 119992 Москва, Россия

В докладе представлены результаты моделирования распространения сигналов спутников радионавигационной системы GPS по касательным трассам с учетом мелкомасштабной неоднородной структуры коэффициента преломления тропосферы и нижней стратосферы Земли. Актуальность исследования обусловлена широким применением радиозатменного метода [1] для исследования вертикальных профилей рефракции тропосферы и нижней стратосферы.

Как тропосфера, так и нижняя стратосфера Земли характеризуется сложной неоднородной структурой поля коэффициента преломления, обусловленной целым рядом факторов, в том числе турбулентностью воздушных течений в атмосфере, неравномерным распределением водяного пара в атмосферном воздухе, орографическими возмущениями ветровых потоков и т.д. и т.п. Сделанные в различное время теоретические и экспериментальные оценки перечисленных возмущений регулярной атмосферы позволяют сделать вывод о наличии в тропосфере и нижней стратосфере широкого спектра неоднородностей с характерным пространственным масштабом сотни метров–единицы километров, что сравнимо с размером зоны Френеля для диапазона длин волн, используемых в системе GPS и подобных. Абсолютная величина значения возмущения регулярного показателя преломления, связанная с указанными неоднородностями, может достигать нескольких N-единиц, что составляет единицы процентов от характерных значений регулярного показателя преломления земной атмосферы. С появлением в последнее время мелкомасштабных наземных сетей приемников GPS были опубликованы первые реконструкции трехмерной структуры неоднородного распределения водяного пара в атмосфере [2].

Систематического исследования влияния мелкомасштабной структуры нижней атмосферы на характеристики распространения сигналов по касательным трассам до сих пор не проводилось. Методы теории переноса излучения также не позволяют получить простого решения для углового распределения интенсивности излучения в связи с пространственно-неоднородными статистическими характеристиками неоднородности коэффициента преломления и наличием регулярной рефракции. С другой стороны, элементарные оценки на основе малоуглового приближения теории переноса излучения дают значение оптической толщины неоднородной атмосферы вдоль касательной трассы порядка нескольких единиц, в то время как характерные углы рассеяния излучения могут оказаться сопоставимы с углами регулярной рефракции. Этот факт согласуется с хорошо известными трудностями наблюдения нижних слоев атмосферы радиозатменным методом в связи со значительными флуктуациями амплитуды и фазы сигнала, частично связанными также и с рассеянием сигналов на сложном рельефе поверхности Земли. По этим причинам, исследование вопроса в настоящее время является весьма актуальным.

В докладе на основе большой совокупности ранее опубликованных данных построена модель неоднородного поля коэффициента преломления тропосферы и нижней стратосферы. Для построенной модели неоднородной среды решено параболическое уравнение дифракции в параксиальном приближении. Показано, что влияние мелкомасштабной неоднородности не описывается приближением геометрической оптики, и большую роль в распространении сигнала играют дифракционные эффекты. Флуктуации амплитуды сигнала за счет рассеяния в нижней атмосфере весьма значительны и сравнимы с флуктуациями, созданными ионосферой. В то же время, эти флуктуации не приводят к полному разрушению когерентной структуры сигнала на расстоянии орбиты типичного низкоорбитального спутника. Тем самым, остается открытым вопрос о влиянии рассеяния на рельефе поверхности, не затронутый в настоящей работе.

Настоящая работа была частично поддержана грантами РФФИ 05-05-65145 и 06-05-64988.

1. Kunitsyn V. et al. Improved radio occultation sounding of the Arctic atmosphere using simulations with a high resolution atmospheric model. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2004, **29**, 277–286.
2. Braun, J.J. and C. Rocken. Water vapor tomography within the planetary boundary layer using GPS. *International Workshop on GPS Meteorology "GPS Meteorology: Ground-Based and Space-Borne Applications"*, Tsukuba, Japan, 2003.

Пространственная и временная погрешность восстановления УФ облученности земной поверхности по спутниковым измерениям альbedo подстилающей поверхности

Тереб Н.В. (tereb@typhoon.obninsk.ru), Нерушев А.Ф.
НПО "Тайфун", пр. Ленина 82, 249038 Обнинск Калужской обл., Россия

По шести станциям (2 – Канада, 1 – Западная Европа, 1 – Европейская часть России, 2 – Япония) проанализировано отклонение "спутниковых" измерений дневных экспозиций интенсивности приземной ультрафиолетовой (УФ) радиации от наземных измерений. В качестве "спутниковых" измерений были взяты данные, рассчитанные по измерениям общего содержания озона (ОСО) и альbedo подстилающей поверхности спектрофотометром TOMS со спутника Earth Probe, а в качестве наземных измерений – измерения спектрофотометрами Брюера. Интервал сравнения – 1996–2001 гг.

Получено, что для всех рассмотренных пунктов, т.е. в широком географическом интервале, связь между наземными и спутниковыми данными весьма жесткая – типичное значение коэффициента корреляции лежит в интервале 0.98–0.99. Среднее многолетнее смещение – разница между спутниковыми и наземными данными – для рассмотренных географических пунктов положительное (спутниковые данные, как правило, лежат выше наземных) и довольно значительно разнится от пункта к пункту – от единиц до двух с половиной десятков процентов. По-видимому, можно считать, что систематическое смещение между наземными и "спутниковыми" измерениями дневных экспозиций УФ облученности лежит в пределах точности энергетической калибровки наземного и спутникового сенсоров.

Среднеквадратичное отклонение смещения для рассмотренных станций находится в интервале от 10 до 25%. Таким образом, среднеквадратичная погрешность восстановления довольно велика, но она уменьшается на порядок, если использовать только случаи абсолютно ясной погоды. Среднеквадратичная погрешность восстановления ощутимо снижается при временном осреднении измерений на интервалах порядка месяца.

Что касается годового хода смещения, то он оказывается весьма разным для разных регионов. В то же время для пунктов внутри региона он оказывается очень подобным. Для Европы, включая Европейскую часть России, годовой ход смещения "обычный", т.е. максимум в июне–июле, что объясняется, скорее всего, соответствующим поведением аэрозоля в нижней тропосфере (летом запыленность больше). Для Канады максимум годового хода смещения приходится на август, а для Японии смещение имеет два максимума (весенний и осенний).

Обнаружено также наличие циклического изменения смещения между спутниковыми и наземными измерениями дневных экспозиций приземной УФ радиации с периодом несколько лет.

Делается вывод, что на малых временных интервалах погрешности восстановления дневных экспозиций приземной УФ радиации по данным спутниковых измерений ОСО и альbedo подстилающей поверхности определяются в основном недостаточным учетом влияния облачности. Причем заложенные в методики восстановления алгоритмы учета облачности дают значительную ошибку не только в случае разорванной облачности, но и в случае сплошной облачности.

На временных интервалах порядка сезона и более начинают сказываться погрешности, вызванные недостаточным учетом зональных особенностей поведения тропосферного аэрозоля, его годовой изменчивости, а также цикличности в свойствах тропосферного аэрозоля с периодом несколько лет.

Поскольку среднеквадратичная погрешность восстановления ощутимо снижается при временном осреднении, то целесообразно работать только с осредненными на интервалах не меньше недели дневными экспозициями УФ облученности земной поверхности.

О точности определения общего содержания озона с помощью аппаратуры SEVIRI на геостационарном спутнике Meteosat-8

Поляков А.В. (alexandr@AP13786.spb.edu)

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

Тимофеев Ю.М.

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

Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена, Санкт-Петербург, Россия

Изучение пространственно-временных вариаций содержания озона в атмосфере Земли представляет собой актуальную задачу в связи с его существенным влиянием на климат планеты и УФ освещенность поверхности, токсичностью и высокими окислительными способностями. В последние годы начато использование геостационарных спутников для мониторинга состояния озоносферы, что позволило выполнять в течение суток 50 и более измерений на больших территориях земного шара. Так, действующий на спутнике Meteosat-8 прибор SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager) позволяет осуществлять определение общего содержания озона (OCO) с помощью надирного метода измерений собственного (теплого) излучения системы атмосфера–поверхность. Прибор SEVIRI имеет в ИК области спектра 8 каналов измерений, центрированных при 3.9, 6.3, 7.4, 8.7, 9.7, 10.8, 11.9 и 13.3 мкм. Они расположены в полосах поглощения водяного пара и углекислого газа, окнах прозрачности, а также в полосе поглощения озона вблизи 9.6 мкм, измерения в которой и должны давать основную информацию о содержании озона. Отметим, что анализ погрешностей измерений OCO с помощью этого прибора, кроме самостоятельного значения, важен в связи с планируемым созданием и эксплуатацией подобного же многоканального радиометра на российском геостационарном спутнике "Электро".

В работе анализируются потенциальные возможности определения общего содержания озона (OCO) с помощью надирного метода измерения теплового излучения атмосферы аппаратурой SEVIRI. Выполнено численное моделирование измерений на основе известных ансамбля состояний атмосферы TIGR и программы RTTOV. Решение обратной задачи основано на методе множественной линейной регрессии. Моделирование экспериментов показало, что при использовании глобальной статистики без привлечения дополнительной информации погрешности определения OCO с помощью многоканальных ИК измерений прибором SEVIRI составляет 14–15% в зависимости от погрешности радиационных измерений 0.1–0.5 К. Привлечение дополнительной информации о температурном профиле позволяет уменьшить погрешность определения OCO до 9–10% в зависимости от погрешности радиационных измерений. Сужение выборки (локализация воздушной массы) позволяет уменьшить погрешность определения OCO до 3–7%. Таким образом, указанные приемы позволяют достичь удовлетворительных точностей определения OCO из измерений аппаратуры SEVIRI.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (гранты РНП.2.1.1.4166 и РНП.2.2.1.1.3836).

Характеристики вертикального ветра по спутниковым данным UARS-UKMO и перенос стратосферного аэрозоля

Грязин В.И., Береснев С.А. (sergey.beresnev@usu.ru)

Уральский государственный университет, пр. Ленина 51, 620083 Екатеринбург, Россия

Поиск эффективных механизмов переноса атмосферного аэрозоля в средней атмосфере на глобальных пространственных и временных масштабах предполагает количественный анализ характеристик стратосферного и мезосферного вертикального ветра, который может

существенно уменьшать или увеличивать скорости гравитационной седиментации и времена оседания дисперсных частиц различной крупности, рассчитанные по модели стационарной средней атмосферы. Уникальную возможность такого рода предоставляет база данных исследовательского спутника NASA UARS (Upper Atmosphere Research Satellite), введенного в эксплуатацию в октябре 1991 г. и функционирующего по настоящее время. Спутниковый доплеровский интерферометр HRDI позволяет получить профили зонального и меридионального ветра в средней атмосфере вплоть до высот 60–65 км, но его разрешающей способности недостаточно для прямого измерения гораздо меньших скоростей вертикального ветра.

С привлечением модели глобальной циркуляции атмосферы UKMO (ее составного блока Stratospheric Assimilated Data) количественная оценка скоростей вертикального стратосферного ветра становится возможной, что позволяет детально проанализировать высотные профили ветра и их широтно-сезонные зависимости. В докладе представлены первоначальные данные такого анализа. Для среднемесячных скоростей вертикального стратосферного ветра наиболее характерны амплитуды колебаний порядка ± 5 мм/с; для среднегодовых скоростей ветра амплитуды колебаний уменьшаются на порядок.

Предложена параметризация среднегодовых скоростей вертикального стратосферного ветра, которая используется в расчетах вертикального переноса фрактало-подобных сажевых частиц от двигателей авиационного транспорта и их подъема и локализации на высотах средней стратосферы. Показано, что характерные значения положительного вертикального ветра в состоянии обеспечить вертикальный подъем против силы тяжести достаточно крупных (микронного размера) и тяжелых аэрозольных частиц (как фрактало-подобных, так и компактных изометрических) на стратосферных высотах. Обосновывается, что учет вертикального ветра на глобальных временных масштабах (от полугода и более) необходим для корректных оценок переноса стратосферного и мезосферного аэрозоля.

Моделирование спутниковых измерений общего содержания CO₂

Виролайнен Я.А. (Yana.Virolainen@JV14952.spb.edu), Поляков А.В.

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

Тимофеев Ю.М.

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

Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена, Санкт-Петербург, Россия

Rozanov V., Rozanov A.

Institute of Environmental Physics/Institute of Remote Sensing (iup/ife), University of Bremen, P.O. Box 330440, D-28334, Bremen, Germany

Важной проблемой современной физики атмосферы является количественное исследование источников и стоков атмосферного углекислого газа, являющегося одним из важнейших парниковых газов. Существующая наземная система измерений содержания CO₂ не позволяет решать эту задачу в полной мере. В 2008 году планируется проведение специального спутникового эксперимента ОСО (Orbital Carbon Observatory) для глобального картирования общего содержания (ОС) с помощью спектральных измерений уходящего отраженного и рассеянного солнечного излучения в ближней ИК области спектра (А-полоса поглощения O₂, полосы поглощения CO₂ при 1.61 и 2.06 мкм). Учитывая высокие требования к точности измерений ОС CO₂ (0.1–0.5%), важное значение имеют тщательное рассмотрение всех физико-математических аспектов решения этой обратной задачи атмосферной оптики, изучение влияния всех возможных факторов, определяющих точность дистанционных измерений и оценки потенциальных погрешностей определения ОС CO₂ из космоса.

В работе приведены результаты численного моделирования планируемого космического эксперимента ОСО на основе использования радиационного кода SCIATRAN. На первом этапе исследований были построены статистические модели параметров атмосферы и поверхности, в том числе различные статистические оптические модели тропосферного аэрозоля (спектрально-высотные ковариационные матрицы). Изучены спектральные и высотные корреляции коэффициентов аэрозольного ослабления и рассеяния, параметра асимметрии рассеяния для разных моделей аэрозоля, погрешности аппроксимации спектральных зависимостей аэрозольных оптических характеристик с помощью различных подходов (формула Ангстрема, оптимальная аппроксимация по Обухову). Показаны значительные преимущества оптимальной аппроксимации.

Рассчитаны спектральные вариации уходящего излучения в трех полосах поглощения, обусловленные естественными вариациями основных влияющих на излучение параметров атмосферы и поверхности – вертикальных профилей содержания CO_2 , температуры, влажности, коэффициентов аэрозольного ослабления и рассеяния, приземного давления, альбедо поверхности. Проведены расчеты матриц ошибок дистанционных измерений ОС CO_2 для различных моделей атмосферы. Показано, что в рамках рассмотренной упрощенной модели спутникового эксперимента, спектральные измерения с высоким разрешением и высокой точностью в трех спектральных областях (А-полосе кислорода и полосах поглощения CO_2) позволяют эффективно исключать влияние различных "мешающих параметров" и определять ОС CO_2 с высокой точностью.

Полученные оценки, однако, следует рассматривать как предварительные (потенциально возможные) с учетом использования в расчетах ряда приближений (отсутствие вариаций индикатрисы рассеяния, приближенный учет оптических характеристик поверхности и т.д.) и неучета ряда дополнительных факторов, влияющих на точность определения ОСО CO_2 (погрешности спектроскопии, радиационной модели атмосферы и поверхности т.д.).

Исследования проведены при частичной поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (гранты РНП.2.1.1.4166 и РНП.2.2.1.1.3836).

Погрешности приближения сферически однородной атмосферы в задаче расчета уходящего неравновесного излучения в полосе озона 9.6 мкм на касательных трассах в мезосфере

Косцов В.С. (vlad@troll.phys.spbu.ru), Ракитин А.В.

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

По данным эксперимента CRISTA построены модели переноса неравновесного излучения в полосе поглощения озона 9.6 мкм с учетом горизонтальных градиентов атмосферных параметров, включая значения неравновесной населенности нижних колебательных состояний молекул озона и состояния 00011 молекул углекислого газа.

Проведено сопоставление полученных по данным CRISTA распределений параметров атмосферы вдоль оптических трасс с распределениями, рассчитанными по модельным данным (модель HAMMONIA, расчеты для ноября месяца, что соответствует сезону проведения эксперимента CRISTA 1). Распределения температуры, давления и содержания углекислого газа согласуются как качественно, так и количественно. Горизонтальные градиенты содержания озона более существенны на трассах, построенных по данным CRISTA.

Проведены расчеты спектров уходящего неравновесного излучения (со спектральным разрешением, соответствующим аппаратуре CRISTA) в полосе 9.6 мкм для находящихся в районе терминатора касательных трасс с прицельными высотами 70–90 км. В относительном выражении максимальные погрешности расчета излучения, обусловленные приближением

сферически однородной атмосферы, наблюдаются в центре полосы озона и составляют на прицельных высотах 70, 80 и 90 км соответственно 10%, 20% и 10% от значений интенсивности излучения. Эти погрешности на прицельной высоте 90 км малы по сравнению с полной погрешностью спектральных измерений аппаратурой CRISTA. На прицельных высотах 70 км и 80 км они сопоставимы по величине в центре полосы озона. Это обстоятельство, а также систематический (по спектру и прицельным высотам) характер погрешностей, обусловленных приближением сферически однородной атмосферы, указывают на необходимость учета горизонтальной неоднородности атмосферы при определении профилей озона в области терминатора дистанционным методом.

Исследования проведены при поддержке Российского Фонда фундаментальных исследований (грант 06-05-64987) и Министерства образования и науки Российской Федерации (гранты РНП.2.1.1.4166 и РНП.2.2.1.1.3836).

Сравнение измерений коэффициента аэрозольного ослабления спутниковыми приборами HALOE и SAGE III

Виролайнен Я.А. (Yana.Virolainen@JV14952.spb.edu), Поляков А.В., Тимофеев Ю.М.

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

Для определения реальных характеристик погрешностей спутниковых измерений и создания единой климатологической базы, например, аэрозольных характеристик стратосферы, регулярно проводится их валидация с помощью независимых измерений с известными погрешностями, а также сопоставление результатов измерений с помощью различных спутниковых приборов.

В настоящей работе анализируются два ансамбля измерений спектральных коэффициентов аэрозольного ослабления (КАО) приборами SAGE III и HALOE. Прибор HALOE, находящийся на борту спутника UARS, с октября 1991 г. проводит непрерывные измерения прозрачности атмосферы в ИК-диапазоне спектра при восходах и заходах Солнца за горизонт планеты. Четыре канала измерений – при 2.45, 3.40, 3.46 и 5.26 мкм – используются для определения вертикальных профилей КАО. Прибор SAGE III, функционирующий на российском спутнике Метеор-3М с февраля 2002 г., используя аналогичную геометрию измерений, позволяет определять профили КАО в 9 каналах видимой и ближней ИК области: 0.385, 0.450, 0.520, 0.600, 0.675, 0.755, 0.870, 1.020 и 1.545 мкм.

Из всех имеющихся в нашем распоряжении данных спутниковых измерений были отобраны для сравнения 160 вертикальных профилей измерений КАО приборами SAGE III и HALOE для случаев пространственного и временного совпадения измерений. Совпадающими считались измерения, согласованные в пределах 500 км по широте и долготе и 12 часов по времени.

На основе смоделированного ансамбля КАО для фоновой стратосферы в каналах приборов SAGE III и HALOE рассчитан регрессионный оператор и, с помощью регрессионного подхода, проведена экстраполяция измерений КАО из каналов SAGE III в каналы HALOE и, наоборот, измерений КАО из каналов HALOE в каналы SAGE III.

Проведено сравнение ансамблей КАО, полученных по данным измерений приборов SAGE III и HALOE, в спектральных каналах обоих приборов, проанализированы средние и среднеквадратичные рассогласования ансамблей. Показано, что для высот 16–24 км для большинства каналов наблюдается хорошее согласование ансамблей КАО (среднеквадратические расхождения составляют 25–60%) в пределах погрешности их измерений (10–20%) и регрессии (30–50%).

Максимальные рассогласования получены в каналах 0.600 и 1.545 мкм прибора SAGE III. При этом для большинства каналов наблюдается превышение значений КАО по данным прибора HALOE над значениями КАО по данным прибора SAGE-III.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ 05-05-65305-а, 06-05-64909-а.

Оценки параметров облачного покрова по данным AVHRR ИСЗ NOAA регионального покрытия в светлое время суток в автоматическом режиме

Волкова Е.В., Успенский А.Б. (uspensky@planet.iitp.ru)

Научно-исследовательский центр "Планета", Б. Предтеченский пер. 7, 123242 Москва, Россия

Предложена пороговая методика автоматической классификации данных измерений радиометра AVHRR ИСЗ серии NOAA, которая позволяет детектировать облачность и зоны осадков, а также оценивать параметры облачного покрова в умеренных широтах в светлое время суток в течение всего года. Для ее настройки и испытаний использован архив синхронных спутниковых и наземных метеорологических и радиолокационных данных для области ($45\text{--}65^\circ$ с.ш., $25\text{--}45^\circ$ в.д.) и периода 1998–2005 гг.

Методика использует в качестве предикторов данные спутниковых измерений радиометра AVHRR в каналах 1, 2 (альбедо $A1$, $A2$), 3 (альбедо $A3$ или температура $T3$), 4, 5 (температура $T4$, $T5$), а также их разности ($(A2-A1)$, $(T4-T5)$, $(T3-T4)$ или $(A1-A3)$). Дополнительно привлекаются данные численного анализа или прогноза о вертикальных распределениях температуры и влажности в атмосфере; предусмотрена также возможность их замены данными спутникового температурно-влажностного зондирования атмосферы.

Динамические пороговые значения в методике рассчитываются для каждого пиксела спутникового изображения как функции широты и долготы, высоты солнца, приземной температуры воздуха (T_a) или подстилающей поверхности (T_s). В качестве оценки T_a можно использовать результаты численного анализа или прогноза полей T_a , наблюдения на ближайших метеостанциях или средне-климатические значения; в качестве T_s используются оценки, полученные по данным измерений СВЧ-радиометра AMSU-A ИСЗ NOAA.

Методика позволяет определять количество облачности (A), идентифицировать тип облачности и фазовое состояние воды на верхней границе облачности (ВГО), оценивать высоту ВГО и максимальную водность облачного слоя, а также выделять зоны осадков, гроз и града и определять их интенсивность. Информационные продукты получаются для индивидуального пиксела, а также для блоков ($n \cdot m$) прилегающих пикселов. Методика детектирует облачность практически с одинаковой точностью над сушей и водной поверхностью, при наличии снежного покрова и без него.

Сопоставление спутниковых оценок A с данными наземных метеонаблюдений показывает, что более чем в 85% случаев расхождения оценок не превышают 2 октов; вероятность правильного детектирования классов "безоблачно" (0–1 окт.) и "сплошная облачность" (7–8 окт.) достигает 90 %, а класса "разорванная облачность" (2–6 окт.) – более 50%.

Высота ВГО рассчитывается для каждого облачного пиксела. Значения $T4$ предварительно корректируются с помощью уравнений регрессии, использующих в качестве предикторов $A1$, $T3$, $(T3-T4)$, $T5$, solar, где solar – высота солнца. Дополнительно используются барометрическая формула, уравнение переноса длинноволнового излучения в атмосфере и вертикальные профили температуры и влажности в пунктах спутникового зондирования. В 90–95 % случаев спутниковые оценки высоты ВГО попадают в диапазон средне-климатических значений. Отмечается удовлетворительное совпадение с радиолокационными данными о высоте ВГО.

Метод позволяет выделить 11 типов облачности: "перистую", "мелкую и среднюю кучевую, в т.ч. слоисто-кучевую", "высоко-кучевую", "высоко-слоистую", "слоисто-

дождевую", "кучево-дождевую", "мощную кучевую", "мощную кучевую с перистыми" и 3 вида "многослойной": "высокую облачность над низкой", "высокую над средней" и "среднюю над низкой". Для разделения этих классов в качестве дополнительных предикторов используются оценки $T_{\max}$ – максимальной температуры в атмосферном слое и высоты ВГО. Визуальный анализ результатов классификации показывает удовлетворительное соответствие с реальной синоптической ситуацией.

Максимальная водность облачного слоя определяется с учетом типа облачности. При этом выделяется 8 классов: " $< 0.1 \text{ г/м}^3$ " – класс 1, " $> 3 \text{ г/м}^3$ " – класс 8. Полученные оценки максимальной водности облачного слоя хорошо согласуются с климатическими данными. Мгновенная интенсивность осадков (I) назначается в каждом облачном пикселе с учетом типа облачности и максимальной водности. Выделяются 8 классов осадков: "без осадков", "морось ($I < 1 \text{ мм/ч}$)", "слабый дождь ($I = 1\text{--}3 \text{ мм/ч}$)", "умеренный дождь ($I = 3\text{--}5 \text{ мм/ч}$)", "сильный дождь ($I = 5\text{--}8 \text{ мм/ч}$)", "ливень ($I = 8\text{--}15 \text{ мм/ч}$)", "сильный ливень ($I = 15\text{--}25 \text{ мм/ч}$)", "очень сильный ливень ($I > 25 \text{ мм/ч}$)". Вероятность правильного детектирования зон осадков превышает 90%, вероятность выпадения осадков в пределах зоны осадков – более 95%, вне ее – менее 15%. Отмечено удовлетворительное совпадение контуров зон осадков, детектированных по данным спутниковых и наземных радиолокационных наблюдений.

Зоны гроз детектируются в зависимости от типа облачности и максимальной водности. При этом выделяются 4 класса: "без грозы", "слабая гроза, или вероятность грозы более 50%", "умеренная гроза, или вероятность грозы более 70%", "сильная гроза, или вероятность грозы более 90%". Получаемые оценки для грозы хорошо согласуются с наземными наблюдениями на метеостанциях.

Сравнение методов расчета концентрации ледяного покрова Арктики по данным пассивного микроволнового зондирования

Шалина Е.В. (Elena.shalina@niersc.spb.ru), Анискина О.Г., Бабина О.И.

НФ "Международный центр по дистанционному зондированию и окружающей среде", В.О. 17 линия, д. 7, оф. 49, 199034 Санкт-Петербург, Россия

Ледяной покров Арктики представляет собою важную компоненту климатической системы Земли. С одной стороны, он участвует в формировании климатических процессов, с другой стороны, трансформация ледяного покрова может служить показателем изменения глобального климата. Таким образом, точность данных о концентрации льда в Арктике влияет на точность климатических расчетов, а также определяет степень надежности оценок климатических изменений.

Данные пассивного микроволнового зондирования предоставляют уникальную возможность изучения трансформации ледяного покрова Арктики, начиная с 1978 года по настоящее время. Согласно опубликованным результатам исследований, базирующимся на данных пассивных спутниковых измерений в микроволновом диапазоне спектра, наблюдается уменьшение площади морских льдов северного полушария, однако скорость уменьшения, рассчитанная разными методами, несколько различается.

В докладе приведены результаты сравнения следующих методов расчета концентрации арктических льдов: NORSEX, NASA Team и Bootstrap. Обсуждены причины возникновения различий.

Использование синергетического подхода при анализе спутниковых данных по интенсивному цветению сине-зеленых водорослей в Балтийском море

Коросов А.А., Макарова Т.А.(tanya@niersc.spb.ru), Поздняков Д.В., Овсянников Д.А.,
Кудрявцев В.Н.

НФ "Международный центр по дистанционному зондированию и окружающей среде", 14 линия В.О. 7а, офис 49N, 199034 Санкт-Петербург, Россия

Обильное содержание фитопланктона в поверхностном слое природного водоема может приводить к изменению цвета воды, повышению температуры поверхности воды и гашению мелкой шероховатости водной поверхности. Эти изменения могут быть обнаружены дистанционно датчиками, соответственно, видимого, инфракрасного и микроволнового диапазонов.

Имевшее место исключительно интенсивное и обширное развитие сине-зеленых водорослей в Балтийском море (БМ) летом 2005 года предоставило возможность исследовать указанные выше взаимосвязанные явления по данным спутниковых датчиков MODIS (NASA), а также MERIS и ASAR (ESA). Полученные нами данные действительно установили факт наличия указанных взаимосвязанных проявлений мощного цветения морского фитопланктона и позволили комплексно исследовать это явление с привлечением информации по батиметрии БМ, системе устойчивых течений, направлению и силе ветров (до и в момент цветения). Полученные результаты представляют интерес, как пример успешного синергетического дистанционного исследования взаимосвязи биотических и абиотических процессов в природных водоемах и их экологического состояния.

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)

Крупномасштабные вариации поля влагосодержания атмосферы по результатам микроволнового зондирования атмосферы

Кутуза Б.Г. (kutuza@cplire.ru)

Институт радиотехники и электроники РАН, Моховая 11/7, 125009 Москва, Россия

Рыбаков Ю.В., Щукин Г.Г.

Филиал ГГО им. А.И. Воейкова "Научно-исследовательский центр дистанционного зондирования атмосферы", 188685 Лен. обл. п. Воейково, Россия

В работе представлены результаты СВЧ радиометрических измерений интегральных параметров атмосферы (полная масса водяного пара, водозапас облаков, интенсивность дождя), проведенных на измерительном полигоне ГГО в пос. Воейково Ленинградской области. Основной целью этих исследований является длительные наблюдения (непрерывно в течение 1–2 месяцев) микроволнового поля нисходящего излучения атмосферы. По результатам этих измерений определялось влагосодержание в парообразной и жидкокапельной фазах и их пространственно-временная изменчивость.

Аппаратурный комплекс радиотепловых наблюдений, созданный совместно ИРЭ РАН и НИЦ ДЗ атмосферы, включает СВЧ-радиометры, работающие в следующих диапазонах длин волн: 0.3 (90 ГГц), 0.8 (37.5 ГГц), 1.35 (22.2 ГГц) и 2.25 см (13.3 ГГц). Одновременно с радиотепловыми измерениями атмосферы проводятся измерения с помощью радиолокатора МРЛ-5, инфракрасного радиометра, лидара и штатных контактных метеорологических приборов. В процессе проведения работы было разработано программно-математическое обеспечение, позволяющее получать радиационные и радиолокационные данные в цифровом виде, определять значения геофизических параметров: полной массы водяного пара, водозаписа облаков, интенсивности дождя и др.

Калибровка радиометров производится периодически с помощью измерения двух уровней. Первый уровень обеспечивается радиоизлучением абсолютно черного тела. Второй уровень – радиоизлучением атмосферы при отсутствии облачности. Чувствительность СВЧ-радиометров составляет 0.1–0.3 К при постоянной времени 1 сек, точность измерения яркостной температуры оценивается в 1–2 К. Измерение радиоизлучения атмосферы проводится рупорными антеннами при фиксированном зенитном угле 40°.

В 2000–2001 гг. измерения проводились по программе международного эксперимента CLIWA-NET. Этот эксперимент был направлен на исследования облаков и переноса влаги в атмосфере над бассейном Балтийского моря и осуществлялся при поддержке Европейского союза. СВЧ радиометрические и другие наблюдения облаков проводились сетью из 12 станций, расположенных в прибрежных районах 8 Европейских стран, в два периода. В течение каждого периода дистанционные измерения велись непрерывно, продолжительность их составила два месяца: август–сентябрь 2000 г. и апрель–май 2001 г. Самая восточная станция в этом эксперименте была расположена в пос. Воейково Ленинградской области. В докладе приводятся примеры измерений яркостной температуры на четырех длинах волн и данные об интегральных параметрах атмосферы. Сравнение дистанционных данных с результатами радиозондовых измерений показывает их достаточно хорошее согласие.

Дистанционное зондирование вертикального распределения стратосферного озона на миллиметровых волнах

Кропоткина Е.П., Игнатьев А.Н., Лукин А.Н., Розанов С.Б., Соломонов С.В.
(solomon@sci.lebedev.ru)

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Ленинский пр. 53, 119991 Москва, Россия

Представлены результаты дистанционного зондирования стратосферного озона на миллиметровых волнах с помощью размещенного в Москве высокочувствительного спектро радиометра [1]. Вертикальное распределение озона (ВРО) в стратосфере и мезосфере восстанавливалось методом Тихонова из зарегистрированных спектров теплового излучения молекул озона с центром на 142.175 ГГц. Исследовано высотно-временное распределение озона над Москвой. Зарегистрирован сезонный ход и короткопериодные вариации содержания озона с характерными временами от нескольких дней до нескольких недель. Показано значительное влияние динамики атмосферы на вертикальное распределение озона в стратосфере. Установлено, что наибольшие изменения в озоносфере происходят в холодное полугодие и связаны с перемещениями воздушных масс, с появлением в стратосфере над Московским регионом полярного воздуха с пониженным содержанием озона. Под влиянием полярного стратосферного вихря происходит значительная деформация вертикальных профилей озона. Например, 2 ноября 2004 г. содержание озона между 20 и 35 км было пониженным до 1.8 раз по сравнению со средними значениями, в то время как выше 35 км содержание озона приближалось к норме. Установлена связь этого явления с особенностями структуры барического поля стратосферы.

Обнаружены эффекты устойчивого понижения содержания озона на высотах между 25 и 45 км и образования локального минимума на высоте около 30 км. Для изучения влияния крупномасштабных атмосферных процессов на вертикальное распределение озона установлены корреляционные связи между содержанием озона на разных высотах стратосферы и другими параметрами атмосферы: потенциальной завихренностью, общим содержанием озона, геопотенциальной высотой, температурой. Получено, например, что коэффициенты корреляции между содержанием озона на 30 км и потенциальной завихренностью составляют до -0.9 , а между содержанием озона на той же высоте и общим содержанием озона составляют до 0.8 в холодные периоды 1996–2005 гг.

Отмечено отличие полученных на миллиметровых волнах среднемесячных значений содержания озона над Москвой от данных справочной модели озоносферы [2]. Это отличие наиболее заметно на высотах 40–45 км. Например, среднее за март содержание озона на 40 км в последние годы (с 1996 по 2005 гг.) на 15–20% ниже данных справочной модели [2]. Такое понижение содержания озона на этих высотах можно рассматривать как оценку убыли озона со времени измерений в 1978–1983 гг., результаты которых положены в основу модели [2]. Причиной уменьшения озона на этих высотах считается [3] разрушение озона в каталитическом цикле с участием хлора техногенного происхождения.

Получено хорошее соответствие (в пределах погрешностей измерений) профилей ВРО над Москвой, полученных на миллиметровых волнах с Земли, и результатов одновременных спутниковых измерений.

Работа поддержана грантом РФФИ №03-02-17436 и по программам ОФН РАН "Проблемы радиофизики" и "Радиоэлектронные методы в исследовании окружающей среды и человека".

1. Соломонов С.В., Розанов С.Б., Кропоткина Е.П., Лукин А.Н. *Радиотехника и электроника*, 2000, **45**, 12, 1519–1525.
2. Keating G.M., Chiou L.S., Hsu N.C. *Adv.Space Res*, 1996, **18**, 9/10, 11–58.
3. Брасье Г., Соломон С. *Аэрономия средней атмосферы*. Л.: Гидрометеиздат, 1987.

Наблюдения ночного озона в мезосфере и нижней термосфере на миллиметровых волнах

Игнатьев А.Н. (ignatyev_alex@mail.ru), Кропоткина Е.П., Лукин А.Н., Розанов С.Б.,
Соломонов С.В.

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Ленинский пр. 53, 119991 Москва, Россия

Представлены методика и результаты наблюдений ночного озона в мезосфере и нижней термосфере на миллиметровых волнах, выполненных с помощью размещенного в Москве высокочувствительного спектрорадиометра ФИАН [1] в холодные периоды 1999–2006 гг. Методика наблюдений основана на регистрации спектра собственного теплового излучения молекул озона на частотах вращательной линии с центром на 142.175 ГГц. В докладе приведены результаты расчётов вклада излучения озона, содержащегося в мезосфере и нижней термосфере, в наблюдаемый на поверхности Земли спектр излучения атмосферы на частотах указанной озонной линии. Величина этого вклада в радиояркостную температуру может достигать 10 К. По измеренному спектру озона методом регуляризации Тихонова в форме принципа обобщённой невязки восстанавливается вертикальное распределение озона (ВРО). Используется также априорная информация об ожидаемом распределении озона в нижней термосфере [2–4].

Оценки показали, что ошибки восстановления не превышают 0.3 ppm на высотах 60–70 км и 2 ppm на высоте 90 км при времени накопления сигнала около 1 часа и спектральном разрешении 100 кГц вблизи центра линии. Обнаружены эффекты возникновения ночью второго и третьего максимумов в ВРО, расположенных соответственно в нижней термосфере и мезосфере. Эти максимумы содержания озона испытывают значительные межсуточные вариации. Содержание озона на высоте мезосферного максимума (около 65 км) изменяется от 0.4 до 2.9 ppm, а в максимуме на высоте 90 км – от 2 до 15 ppm. Обнаружена связь этих вариаций с крупномасштабными динамическими процессами в стратосфере. Показано, что значение коэффициента корреляции содержания озона на высоте 65 км и потенциальной завихренности на уровне потенциальной температуры 850 К (высота около 30 км) может достигать – 0.6. Отрицательные значения этого коэффициента свидетельствует о том, что при смещении полярного стратосферного вихря к Москве в большинстве случаев наблюдается понижение содержания ночного озона на высоте 65 км. Таким образом, бедные озоном воздушные массы полярного вихря могут наблюдаться и на высотах мезосферы. Коэффициент корреляции содержания озона на высоте 90 км и потенциальной завихренности на уровне потенциальной температуры 850 К, напротив, положителен и может достигать + 0.9 (холодный период 1999–2000 гг.). Эта связь проявлялась в периоды перемещений полярного вихря. Эти данные подтверждают гипотезу о влиянии вертикального переноса атомарного кислорода на содержание озона в нижней термосфере внутри полярного вихря [5].

Полученные результаты согласуются с результатами расчётов [2] и данными спутниковых экспериментов [3, 4].

Работа поддержана грантом РФФИ №03-02-17436 и Программами ОФН РАН "Проблемы радиофизики" и "Радиоэлектронные методы в исследовании окружающей среды и человека".

1. Соломонов С.В., Розанов С.Б., Кропоткина Е.П., Лукин А.Н. *Радиотехн. и электрон.*, 2000, **45**, 12, 1519–1525.
2. Smith A.K., March D.R. *J. Geophys. Res.*, 2005, **110**, № D23305, doi:10.1029/2005JD006298.
3. Kauffman M. et al. *J. Geophys. Res.*, 2003, **108**, № D9, doi:10.1029/2002JD002800.
4. Bevilacqua R.M. et al. *J. Geophys. Res. Lett.*, 1996, **23**, 17, 2317–2320.
5. Соломонов С.В., Кропоткина Е.П., Розанов С.Б. *Изв. ВУЗов. Радиофизика*, 2003, **46**, 8–9, 764–770.

Особенности общего содержания озона в северной и южной полярных областях

Радионов В.Ф. (vradion@aari.nw.ru), Русина Е.Н., Сибир Е.Е.

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

Шаламянский А.М. (ozone@voeikovo.ru)

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

Предметом настоящей работы стал сравнительный анализ и выявление особенностей временной изменчивости общего содержания озона (ОСО) по данным российских станций в Арктике, включая данные наблюдений в Центральном арктическом бассейне и в Антарктиде за период с 1973 по 2005 г.

Измерения проводились по стандартной методике Главной геофизической обсерватории фильтровыми озонетрами М-83 до середины 1980-х годов и М-124 в последующие годы. Относительная погрешность измерения ОСО по прямому солнечному свету и свету от зенита ясного неба составляет $\pm 5\%$, при низких высотах Солнца ($5\text{--}14^\circ$) – $\pm 7\%$.

Были проанализированы данные измерений ОСО, полученные в 1973–2002 гг. на восьми арктических российских стационарных станциях, расположенных севернее 65° с.ш. Данные были заимствованы из публикации Международного центра данных по озону и ультрафиолетовой радиации Всемирной Метеорологической Организации (Ozone Data for the World. ODW CD No. 5. 2003. World Meteorological Organization, Global Atmosphere Watch, Meteorological Service of Canada).

Информация о содержании озона на стационарных станциях была сопоставлена с данными наблюдений в Центральном арктическом бассейне, где измерения ОСО проводились на дрейфующих станциях СП и научно-экспедиционных судах (НЭС) в 2003 и 2005 гг.:

- на СП-32 с июля по сентябрь 2003 г. в районе $85\text{--}88^\circ$ с.ш. и $44\text{--}82^\circ$ в.д.;
- на борту НЭС "Академик Федоров" с августа по сентябрь 2004 г. в диапазоне координат $63\text{--}85^\circ$ с.ш. и $4\text{--}168^\circ$ в.д.;
- на СП-33 с апреля по сентябрь 2005 г. в районе $80\text{--}89^\circ$ с.ш. и $38\text{--}99^\circ$ з.д.;
- на борту НЭС "Академик Федоров" в сентябре 2005 г. в диапазоне координат $74\text{--}89^\circ$ с.ш. и 27° з.д. – 170° в.д.

Для сравнения общего содержания озона в Арктике и Антарктиде использованы данные измерений на трех антарктических станциях – Мирный, Новолазаревская и Восток за 1974–2005 гг.

Анализ экспериментального материала, накопленного в Арктике за 1973–2002 гг. и в Антарктиде за 1974–2005 гг., показал, что среднегодовые значения ОСО (точнее, средние за периоды измерений в светлое время года при высоте Солнца больше 5°) в Арктике менялись в интервале 344–374 е.Д. и существенно превышали аналогичные значения в Антарктиде, которые варьировали в пределах 243–312 е.Д.

В то же время, изменчивость ОСО в Арктике оказалась значительно более низкой, по сравнению с Антарктидой. Стандартные отклонения для упомянутых выше средних содержаний озона в Арктике заключены в интервале от ± 14 до ± 31 е.Д., в то время как в Антарктиде диапазон их изменений составлял от ± 37 до ± 55 е.Д.

При анализе данных, полученных в Центральном арктическом бассейне, был предложен подход, основанный на приведении нестационарных рядов наблюдений к стационарным и позволивший сопоставить средние уровни ОСО, определенные на движущихся платформах в разные месяцы в 2003–2005 гг.

Различия между значениями ОСО на станциях Северной и Южной полярных областей особенно сильно проявляются в весенний период. Как в СПО, так и в ЮПО поле озона

наиболее однородно в летние месяцы. Значения ОСО летом не только незначительно отличаются друг от друга на стационарных (прибрежных и островных) станциях Арктики и дрейфующих станциях Центрального арктического бассейна, но близки по величине в обеих полярных областях.

Среднемесячные значения ОСО, полученные с ноября по апрель наблюдательного сезона 1976–1977 гг. на СП-22 в Центральном арктическом бассейне с помощью озонметра М-83, были существенно выше соответствующих средних многолетних значений ОСО, определенных в 1973–2002 гг. на стационарных и в 2003–2005 гг. на дрейфующих станциях. Эти различия, очевидно, связаны с тем, что в 1976–1977 гг. наблюдения проводились в период полярной ночи по лунному свету и по свету от зенита неба в апреле при предельно низких высотах Солнца.

За тридцатилетний период наблюдений в обеих полярных областях зафиксирован отрицательный тренд общего содержания озона, гораздо более резко выраженный в ЮПО. В СПО отрицательный тренд озона в основном проявился на западных станциях Российского Севера – Мурманске, Печоре, о-ве Хейса и Игарке в период с 1973 г. и до середины 1990-х гг., со второй половины 1990-х гг. на них наметилась тенденция к некоторому росту общего содержания озона. На станциях, расположенных в восточной части Арктики, данных для выявления тренда ОСО оказалось недостаточно.

В многолетнем ходе величин, характеризующих весеннюю отрицательную аномалию ОСО над Антарктикой, можно говорить об уменьшении ОСО к началу 1990-х годов до 70–75% от нормы за 1974–1980 гг. и признаках стабилизации в конце 1990-х–начале 2000-х гг. В Арктике, несмотря на уменьшение ОСО, особенно проявившееся с конца 1980-х и до 1997 г., оснований для утверждения о наличии озоновой дыры в Арктическом регионе в настоящее время нет.

Углекислый газ в толще атмосферы центральной части Евразии

Кашин Ф.В. (kashin@typhoon.obninsk.ru), Арефьев В.Н., Каменоградский Н.Е.
Институт экспериментальной метеорологии, НПО "Тайфун", пр. Ленина 82, 249038 Обнинск, Россия

Семенов В.К. (svk@elcat.kg), Синяков В.П.
Киргизский национальный университет, ул. Манаса 101, 720033 Бишкек, Киргизстан

Представлены уточненные результаты измерений методом солнечной молекулярно-абсорбционной спектроскопии содержания углекислого газа в столбе атмосферы на континентальной станции мониторинга "Иссык-Куль" с 1980 по 2005 год.

Проанализированы сезонные вариации и долговременный тренд концентрации CO_2 (отношение смеси), полученные по данным измерениям в столбе атмосферы. За 25 лет средняя годовая концентрация выросла на $\sim 42 \text{ млн}^{-1}$. Показатель линейного тренда равен 1.603 млн^{-1} в год и согласуется с глобальной скоростью роста содержания углекислого газа в атмосфере.

Результаты сопоставлены с концентрациями CO_2 в пробах воздуха у земли и на различных высотах. Изменения концентрации CO_2 в приземном воздухе от дня ко дню более значительные, чем в столбе атмосферы, так как на состав пробы воздуха оказывают влияние наземные источники и стоки углекислого газа и приповерхностная инверсия температуры, способствующая накоплению CO_2 в приземном воздухе. Определенные расхождения наблюдаются также в амплитудах и фазах сезонных вариаций концентрации CO_2 . Данные самолетных измерений концентрации CO_2 до высот 5–6 км в среднем согласуются с результатами измерений в столбе атмосферы.

Проведено сравнение результатов измерений концентрации CO_2 в столбе атмосферы с данными находящихся в Казахстане станций KZD и KZM (ESRL/NOAA). В целом, между ними существуют различия, в основном в сезонных вариациях, причем данные KZD и KZM также не совпадают.

Сравнение со средней зональной эмпирической моделью MBL (ESRL/NOAA), отражающей пространственно-временные вариации концентрации CO_2 показало, что экспериментальные и модельные данные качественно согласуются. Наблюдается систематическое превышение результатов измерений концентрации CO_2 в столбе атмосферы над модельными концентрациями от 3 до 7 млн^{-1} при высоком коэффициенте корреляции $r = 0.95$.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (Проект 04-05-64702) и ISTC (Проект Kг-763).

Исследование изменчивости общего содержания окиси углерода в Москве (1993–2005 гг.) спектроскопическим методом

Ракитин В.С., Фокеева Е.В. (fokeeva@ifaran.ru), Гречко Е.И., Джола А.В.

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

В работе приведены результаты измерений полного содержания окиси углерода в воздушном бассейне города Москвы и на Звенигородской научной станции (ЗНС) в период с 1993 г. по 2005 г. Измерения проводились по поглощению солнечного излучения с помощью идентичных спектроскопических установок, состоящих из системы слежения за Солнцем и дифракционного спектрометра с разрешением 0.25 см^{-1} в рабочей области спектра 4.7 $\mu\text{м}$. Обработка спектров велась по методике эквивалентной полуширины с использованием коэффициентов перехода, рассчитанных с помощью модельных спектров. Полное содержание СО в городе испытывает существенные вариации день ото дня, от значений близких к фоновому, до значений в 2.5 раза его превышающих. Эти вариации определяются изменениями метеоусловий и в наибольшей степени скоростью ветра.

Одновременное измерение регионального фоновое содержание в сельской местности на аналогичной аппаратуре с использованием аналогичной методики позволяет выделить городскую часть содержания δ . Сравнение частот повторяемости различных значений δ в холодный и теплый периоды года показывает преобладание низких значений δ в теплый период. Среднегодовая величина δ характеризует загрязненность города окисью углерода и определяется интенсивностью выноса примеси и мощностью ее источников. Среднегодовые значения δ за весь период измерений не возрастают, что подтверждается результатами измерений приземных концентраций окиси углерода за последние годы. Это можно объяснить тем, что при непрерывном росте числа автомобилей в последние годы общий объем выбросов СО в Москве увеличивается относительно мало.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 06-05-64153-а).

Исследования содержания метана и окиси углерода в столбе атмосферы и в приземном воздухе

Кашин Ф.В. (kashin@typhoon.obninsk.ru), Баранова Е.Л., Овчинникова Е.Н., Сизов Н.И.

Институт экспериментальной метеорологии, НПО "Тайфун", пр. Ленина 82, 249038 Обнинск, Россия

Контроль за содержанием метана (CH_4) и окиси углерода (CO) в атмосфере осуществляется по результатам измерений их концентраций (отношения смеси) в пробах приземного воздуха. Метод измерений имеет высокую точность, так как основан на сравнении содержания CH_4 и CO в пробах воздуха с эталонными газовыми смесями.

Для исследования газового состава атмосферы также известен и применяется метод солнечной абсорбционной спектроскопии. Он основан на определении содержания CH_4 и CO по спектрам солнечного излучения, прошедшего всю толщу атмосферы. Результатом измерений этим методом является содержание CH_4 и CO в столбе атмосферы.

Прямое сравнение результатов измерений CH_4 и CO в столбе атмосферы и в приземном воздухе невозможно, так как первые характеризуют общее содержание, вторые – концентрацию в пробе воздуха. Одним из возможных способов сравнения этих двух видов данных является определение приземных концентраций CH_4 и CO по их содержанию в столбе атмосферы и модельным вертикальным распределениям.

В Обнинске (55.11 с.ш., 36.57 в.д., 183 метра над уровнем моря) были начаты совместные измерения содержания CH_4 и CO в столбе атмосферы и их концентрации в пробах приземного воздуха, дополненные измерениями на высотах 25, 100, 200 и 300 метров с использованием Высотной метеорологической мачты. По данным измерений содержания CH_4 и CO в столбе атмосферы с использованием модельных вертикальных профилей были рассчитаны их приземные концентрации.

Сравнение результатов измерений показало:

- концентрации CH_4 и CO , полученные по измерениям в столбе атмосферы, лучше согласуются с минимальными приземными концентрациями;
- сезонные вариации CH_4 и CO в столбе атмосферы и в приземном воздухе согласуются по фазе;
- наблюдается расхождение амплитуды сезонных вариаций CO по данным измерений в столбе атмосферы и в приземном воздухе, что связано с характером его вертикального распределения в атмосфере и подтверждается результатами измерений концентрации CO на высотах 25, 100, 200 и 300 метров.

Таким образом, использование данных о содержании CH_4 и CO в столбе атмосферы и в приземном воздухе открывает возможность исследования особенностей их распространения в атмосфере по вертикали от источников, находящихся на земной поверхности.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 03-05-65038) и CRDF (грант № RG1-2374-ОВ-02).

Долговременные наземные спектроскопические измерения общих содержаний атмосферных газов CH_4 и CO в России: проблемы совместного анализа

Поберовский А.В., Макарова М.В. (zaitis@troll.phys.spbu.ru)

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

Гречко Е.И., Джола А.В.

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

Арефьев В.Н., Кашин Ф.В.

НПО "Тайфун", пр. Ленина 82, 2249038 Обнинск Калужской обл., Россия

С начала семидесятых годов в ряде научных организаций России (ИФА, ГГО, НПО "Тайфун", СПбГУ) разрабатываются спектроскопические методы измерений газового состава атмосферы, в том числе общих содержаний (ОС) таких климатически важных газов как CO_2 , CH_4 и CO . Наиболее длинные ряды измерений получены для ОС CO с 1970 г. (ИФА, Звенигород) и ОС CH_4 с 1975 г. (ИФА, Звенигород) и 1990 г. (СПбГУ, С. Петербург). В результате анализа измерений ОС CO и CH_4 в атмосфере были определены их сезонные вариации и длиннопериодные изменения.

Наблюдающийся до середины 1980-х годов рост ОС CO в атмосфере сменился в середине 1990-х гг. относительным постоянством ОС CO . При этом для величин ОС CO характерны большие межгодовые вариации, когда скорость роста изменялась от $\sim +1.3$ %/год в 1970-е годы до аналогичных отрицательных значений в 2000–2002 гг.

До середины 90-х годов наблюдалось относительно плавное увеличение ОС CH_4 , но в 1995-2005 гг. были зафиксированы значительные изменения его амплитуды и характера годового хода.

Обсуждаются вопросы совместного использования данных наземных спектроскопических измерений общих содержаний различных атмосферных газов в России и СНГ, изучения региональных особенностей в их сезонном ходе и долгосрочных трендов, проблемы объективной оценки случайных и систематических погрешностей измерений, взаимокалибровки измерений, а также согласования результатов измерений с данными международной сети.

Работа выполнена при частичном финансировании по грантам Минобрнауки России РНП.2.1.1.4166, РНП.2.2.1.1.3836 и лот РП-13.1/001.

Дистанционное зондирование Земли с помощью ИК фурье-спектрометра

Завелевич Ф.С., Головин Ю.М., Десятов А.В., Мацицкий Ю.П., Никулин А.Г.
(kerc@elnet.msk.ru)

Исследовательский Центр имени М.В. Келдыша, Онежская ул. 8, 125438 Москва, Россия

Городецкий А.К. (gora@iki.rssi.ru)

Институт космических исследований РАН, Профсоюзная ул. 84/32, 117997 Москва, Россия

В условиях постоянного сокращения наземной сети аэрологических наблюдений возрастает роль спутниковых данных температурно-влажностного зондирования атмосферы. Вертикальное разрешение (3–5 км) и точность (около 2 К по температуре и 20–30% по влажности) метеопараметров, обеспечиваемые современными спутниковыми средствами, уступают данным радиозондов, что понижает эффективность их усвоения.

Добиться существенного повышения разрешения (до 1 км) и точности (до 1 К) можно путем существенного повышения спектральной разрешающей способности ИК-зондировщиков. Поэтому в США, в Европе, в Японии, а последнее время и в России, развернуты работы по созданию бортовой спектральной аппаратуры нового поколения, к которой в первую очередь относятся фурье-спектрометры.

Создаваемый в России для КА серии "Метеор" ИК фурье-спектрометр ИКФС-2 предназначен для измерения в диапазоне 5–15 мкм с разрешением $\leq 0.5 \text{ см}^{-1}$ спектров уходящего излучения системы "атмосфера-поверхность", необходимых для получения следующих видов информации:

- профилей температуры в тропосфере и нижней стратосфере с погрешностью 1.0–1.5 К, вертикальным разрешением до 1 км в нижней тропосфере;
- профилей влажности в тропосфере с погрешностью 10% (в терминах относительной влажности), вертикальным разрешением 1–2 км в нижней тропосфере;
- общего содержания озона с погрешностью не хуже 5% и вертикального профиля содержания O_3 в озоновом слое с погрешностью 10% (содержание O_3 в 2-х или 3-х слоях атмосферы);
- температуры подстилающей поверхности с погрешностью $\leq 1 \text{ К}$.

Помимо восстановления основных метеопараметров атмосферы, ИК фурье-спектрометр позволит получать данные о содержании радиационно-активных малых газовых компонентов атмосферы CH_4 и N_2O , что важно для контроля параметров экологического состояния атмосферы, включая мониторинг парниковых газов. Сочетание ИК-спектрометрических и радиометрических измерений в СВЧ-диапазоне существенно увеличивает информацию о высотном распределении температуры атмосферы в условиях сплошной облачности, поскольку радиационная температура, измеренная ИК-спектрометром, позволяет определять макрофизические характеристики верхней границы облаков – температуру и высоту верхней границы, а СВЧ-данные – определять водозапас облаков и температуру поверхности.

Таким образом, создание нового поколения космических ИК-зондировщиков и проведение комплексных измерений, включающих радиометры СВЧ-диапазона, позволит

получать оперативную метео-информацию, что в перспективе даст возможность повысить роль радиационных данных в прогностических схемах прогноза погоды, а также использовать результаты измерений для оперативного контроля и прогноза стихийных бедствий в условиях значительного сокращения наземной сети аэрологических наблюдений.

Опыт наземного зондирования атмосферы с помощью измерений нисходящего теплового излучения с помощью ИК Фурье-спектрометров

Виролайнен Я.А. (Yana.Virolainen@JV14952.spb.edu), Поляков А.В., Тимофеев Ю.М.
Научно-исследовательский институт физики им. В.А. Фока СПбГУ, Ульяновская 1, 198504 Санкт-Петербург, Россия

Спектральные измерения нисходящего теплового излучения в ИК и МКВ областях спектра широко используются для получения различной информации о физических параметрах атмосферы – температуре, характеристиках газового и аэрозольного состава, свойствах облаков. Эти данные широко используются при решении различных научных и прикладных задач: изучения временных вариаций атмосферных параметров, в том числе их долгосрочных трендов, валидации спутниковых измерений, проверки численных моделей атмосферы и т.д. Сделан обзор результатов зондирования атмосферы с помощью ИК Фурье-спектрометров с поверхности Земли.

Для интерпретации измерений ИК Фурье-спектрометров высокого и среднего спектрального разрешения ($0.1\text{--}1.0\text{ см}^{-1}$) созданы оригинальная методика, алгоритмы и программное обеспечение. Созданное матобеспечение было апробировано на большом объеме спектров, измеренных приборами EISAR (Потсдамская Метеорологическая Обсерватория, Потсдам, Германия) и OASIS (Метеорологический Институт им. Макса Планка, Гамбург, Германия). Использовались ансамбли измерений прибором EISAR в Потсдаме в 1995 и 1999 гг., а также прибором OASIS во время измерительных кампаний LACE в Линденберге, Германия (август 1998 г.) и на корабле в Балтийском море (2000 и 2001 гг.).

На основе обработки целого ряда измеренных в условиях безоблачной атмосферы спектров в области длин волн 7–15 мкм были определены термическая структура и газовый состав атмосферы – вертикальные профили температуры, общее содержание (ОС) водяного пара, озона, метана и N_2O . Кроме того, была получена информация о содержании водяного пара и озона в более узких слоях атмосферы.

На основе сравнения с независимыми измерениями радиозондов, а также микроволнового радиометра, было показано хорошее соответствие восстановленных параметров с полученными из интерферометрических измерений данными о вертикальных профилях влагосодержания и температуры в тропосфере, а также об ОС водяного пара. Данные по ОС озона были сопоставлены с данными спутниковых измерений прибором TOMS. Сравнение этих данных также продемонстрировало их хорошее согласие.

В докладе показано, что наземные спектральные измерения теплового ИК излучения с помощью Фурье-спектрометров позволяют отслеживать суточные вариации рассматриваемых параметров атмосферы.

Работа выполнена при частичном финансировании по грантам Минобрнауки России РНП.2.1.1.4166, РНП.2.2.1.1.3836 и лот РП-13.1/001.

Исследование микроволнового излучения земной атмосферы в условиях возможного нарушения спин-изомерного равновесия водяного пара

Троицкий А.В. (troitsky@nirfi.sci-nnov.ru)

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

Молекулы водяного пара H_2O существуют в природе в двух спин-изомерных состояниях – орто и пара. Каждому такому состоянию соответствует свой молекулярный спектр. Отношение статистических весов орто/пара состояний равно 3 : 1, величина которого и определяет интенсивность орто- и пара-спектра молекул H_2O . В [1] обнаружено существенное нарушение орто/пара (или спин-изомерного) равновесия водяного пара при адсорбции на различные поверхности и последующего испарения с них (9 : 1 и 2 : 1, соответственно, вместо 3 : 1 при равновесии). Водяной пар в атмосфере также претерпевает процессы адсорбции и испарения в облаках, на аэрозолях и примесях, на земной поверхности. Можно ожидать, что в процессе таких трансформаций орто/пара равновесие водяного пара в атмосфере будет нарушено. Это приведёт к перераспределению интенсивностей всех линий молекулярного спектра H_2O в диапазоне от микроволн до оптики по их орто- пара-признаку.

В микроволновом диапазоне расположены две сильные линии спин-изомеров водяного пара: 22.2 ГГц (орто-линия) и 183.3 ГГц (пара-линия). При нарушении орто/пара равновесия H_2O изменение интенсивности излучения атмосферы (или поглощения) в окрестностях этих линий будет иметь разные знаки. Излучение и поглощение водяного пара в атмосфере будут определяться не только его общим содержанием, но и степенью вовлечённости в процессы агрегации, адсорбции и испарения.

Измерения интенсивности микроволнового излучения ясной атмосферы проводились в 2005–2006 годах с помощью высокочувствительных радиометров на частотах 22.2 и 20.7 ГГц (орто-линия) и 95 ГГц (склон пара-линии 183.3 ГГц) и зенитном угле 60°. Измерения происходят на фоне изменения общего (равновесного) содержания водяного пара и, как следствие, изменения интенсивности излучения атмосферы во всём микроволновом диапазоне, поэтому важны не абсолютные величины яркостной температуры в орто-, пара-линиях, а их отношение K , точнее отклонение этого отношения от некоторого равновесного значения $\Delta T_{я(орто)}/\Delta T_{я(пара)} = K_p$. Для вариаций равновесного излучения K_p постоянно и зависит только от частоты и угла наблюдения. Естественный разброс значений K_p составляет ~ 8% для средних летних условий и обусловлен вариациями температуры и давления.

Обнаружены значительные отклонения отношения $\Delta T_{я(22,2)}/\Delta T_{я(95)}$ от наиболее вероятного значения ~ 0.71, которое, по-видимому, определяется равновесным орто/пара отношением K_p водяного пара. Отклонения от K_p составили диапазон значений от 0.45 до 0.91 на временных интервалах от десятков минут до 1–2 часов. Теоретические значения равновесного отношения K_p на этих частотах имеют разброс от 0.94 до 0.78 в зависимости от моделей поглощения, которые носят полуэмпирический характер. (Несоответствие теории и эксперимента хорошо известно ещё с 60-х годов и до сих пор не имеет своего объяснения).

Обнаруженные вариации отношения яркостных температур $\Delta T_{я(22,23)}/\Delta T_{я(95)}$ в области орто-, пара-линий H_2O можно интерпретировать нарушением орто/пара равновесия H_2O в атмосфере, хотя следует отметить, что частота 95 ГГц не является оптимальной для атмосферной пара-линии 183.3 ГГц, "ширина" которой несколько десятков ГГц. Оптимальным же диапазоном частот в линии поглощения 183.3 ГГц является 140–150 ГГц.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 06-02-16681).

1. Tihonov V.I., Volkov A.A. Separation of water into its orto and para isomer. *Science*, 2002, **296**, 2363.

Уточнение методики фильтрации безоблачных ситуаций

Свириденков М.А. (misv@mail.ru), Аникин П.П., Ромашова Е.В.

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

При интерпретации данных измерений спектральной прозрачности атмосферы важной является проблема выделения случаев, когда измеренная оптическая толщина аэрозоля искажена присутствием облаков на диске солнца. В сети мониторинга атмосферного аэрозоля AERONET (AErosol RObotic NETwork) успешно используется методика фильтрации облачности, основанная на нескольких критериях отбора данных – как по амплитуде короткопериодных вариаций, так и по норме второй производной от оптической толщины по времени в течение светового дня [1]. Однако в случае наличия полупрозрачной облачности верхнего яруса эта методика оказывается недостаточно эффективной [2].

Эффективный размер частиц перистых облаков значительно больше длин волн, на которых измеряется оптическая толщина аэрозоля (в сети AERONET – обычно 0.34–1.02 мкм). Поэтому спектральный ход ослабления перистыми облаками близок к нейтральному. В докладе обсуждается возможность использования этого факта для дополнительной фильтрации облаков. Для атмосферного аэрозоля типичными являются значения параметра Ангстрема порядка 1–2. Следовательно, при увеличении замутненности прирост оптической толщины аэрозоля в УФ-диапазоне больше, чем в ближней ИК-области. При прохождении облаков по диску солнца измеренные оптические толщины меняются синхронно на всех длинах волн. При этом их вариации одинаковы по всему диапазону, или даже растут с длиной волны вследствие спектрального хода вклада рассеянного облаками излучения в поле зрения фотометра. Для надежного выявления таких ситуаций достаточно изменения оптической толщины облака на величину порядка 0.02. Полученные по методу минимальных точек значения оптических толщин можно рассматривать как верхние границы аэрозольных оптических толщин. В случае оптически плотных облаков можно также ввести дополнительный критерий по величине параметра Ангстрема (или отношения оптических толщин на крайних длинах волн). При измерениях с использованием приборов типа MFRSR прохождение отдельных облаков можно дополнительно контролировать по поведению прямой и диффузной солнечной радиации.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект 04-05-64579).

1. Smirnov A., Holben B.N., Eck T.F., Dubovik O., Slutsker I. Cloud-screening and quality control algorithms for the AERONET database. *Remote Sensing of Environment*, 2000, 73, 337–349.
2. Улюмджиева Н.Н., Чубарова Н.Е., Смирнов А.В. Характеристики атмосферного аэрозоля в Москве по данным солнечного фотометра CIMEL. *Метеорология и гидрология*, 2005, 1, 48–57.

Дистанционное зондирование атмосферы на основе фотометрии лунных затмений

Угольников О.С. (ugol@tanatos.asc.rssi.ru), Маслов И.А.

Институт космических исследований РАН, Профсоюзная 84/32, 117997 Москва, Россия

Работа посвящена достаточно необычному методу оптических исследований тропосферы Земли, основанному на поверхностной фотометрии Луны во время ее полных теневых затмений. В этот момент становится возможным провести дистанционные измерения поглощения света в атмосфере над большой территорией вдоль лимба Земли, видимого с Луны. Длина этой территории сравнима с радиусом Земли, а сама территория удалена от пункта наблюдения на многие тысячи километров. Целью настоящей работы является применение данного метода для анализа глобального распределения аэрозоля в тропосфере.

Основой работы являются фотометрические наблюдения полных лунных затмений 4 мая и 28 октября 2004 года, проведенные в Южной Лаборатории Государственного

Астрономического института им. П.К. Штернберга МГУ (п. Научный, Крым). Поверхностная яркость различных областей лунного диска измерялась вне затмения, в полутени и тени Земли. Наблюдения проводились на границе видимой и инфракрасной области спектра вне полос поглощения атмосферных газов.

Благодаря большим угловым размерам Луны и ее движению сквозь земную тень во время затмения оптическая плотность была измерена на значительной площади тени, что позволило построить ее радиальную зависимость для широкого диапазона позиционных углов, то есть, для различных точек прохождения лучей Солнца над поверхностью Земли. Сопоставление этой зависимости с теоретической кривой для газовой атмосферы дало возможность установить высотное распределение величины аэрозольного поглощения для разных пунктов вблизи лимба Земли. Полученные данные о пространственных вариациях аэрозоля сравнивались с метеорологической картой на дату наблюдения. Значение характерной высоты верхней границы приземного аэрозольного слоя (7–12 км) находится в удовлетворительном согласии с данными, полученными другими методами.

Работа выполнена при поддержке Фонда Содействия Отечественной Науке.

Использование данных дистанционного зондирования для оценки суммарного испарения с поверхности речных водосборов

Старцева З.П. (zoya@aqua.laser.ru), Музылев Е.Л.
Институт водных проблем РАН, ул. Губкина 3, 119991 Москва, Россия

Успенский А.Б. (uspensky@planet.iitp.ru), Волкова Е.В.
Научно-исследовательский центр "Планета", Б. Предтеченский пер. 7, 123242 Москва, Россия

Для определения по спутниковой информации температур почвы T_g и воздуха у поверхности растительного покрова T_a , эффективной радиационной температуры подстилающей поверхности $T_{s,eff}$ и ее излучательной способности E , нормализованного индекса вегетации $NDVI$, листового индекса LAI и проективного покрытия растительностью B разработаны два метода тематической обработки данных измерений радиометра AVHRR (ИСЗ NOAA) при отсутствии облачности – с учетом и без учета в явном виде значений B . ($T_{s,eff}$ представляется здесь как взвешенная линейная комбинация T_a и T_{sg} (спутниковой оценки величины T_g)). В процессе сравнения обоих методов получена и исследована статистика ошибок определения упомянутых температур по спутниковым данным. По результатам этого сравнения для дальнейшего применения был выбран первый метод.

Исследования проводились на примере верхней части находящегося в лесостепной зоне водосбора р. Сейм (Курская обл.) площадью 7460 км² для сезонов вегетации 1997, 1999–2004 гг.

Основу первого из предложенных метода составляют:

- подготовка архивов синхронных спутниковых и наземных наблюдений для вегетационных периодов 1999–2004 гг. для территории Курского региона, а также формирование обучающих и контрольных выборок различного состава и объема;
- настройка, модификация и тестирование регрессионных алгоритмов оценки T_a , T_{sg} и $T_{s,eff}$ (выбор подходящего состава предикторов, испытание на различных выборках), расчет статистики ошибок определения оценки T_a , T_{sg} и $T_{s,eff}$ путем сравнения с результатами наблюдений in-situ;
- сравнительный анализ различных алгоритмов оценки листового индекса LAI , основанных на априорных эмпирических связях между LAI и $NDVI$, LAI и B , и выбор наиболее подходящего к условиям измерений алгоритма.

Анализ статистики ошибок, проведенный для каждой из 6 агрометеостанций водосбора и при усреднении по всем станциям для различных временных промежутков каждого сезона вегетации и для всех сезонов в целом, показал, что величины среднеквадратичных

погрешностей определения T_a , T_{sg} и $T_{s,eff}$ находятся в пределах 1.7–2.4, 3.5–4.9 и 2.5–3.7°C, соответственно.

Построенные по данным AVHRR оценки температур подстилающей поверхности и характеристик растительности использовались для валидации физико-математической модели вертикального тепло- и влагопереноса в системе "почва-растительность-атмосфера" (SVAT) и для расчетов с ее помощью суммарного испарения и других компонент водного баланса для речного водосбора. Модель SVAT предназначена для расчета вертикальных потоков тепла и влаги, распределений влажности и температуры почвы по глубине, а также температур растительного покрова и поверхности почвы. Она содержит уравнение вертикального влагопереноса в почве с учетом поглощения воды корнями растений, уравнение теплопроводности для почвы, эмпирические соотношения для определения испарения с поверхности почвы и транспирации, уравнения теплового баланса для поверхностей почвы и растительности, а также процедуру осреднения по площади значений составляющих водного баланса. Разнообразие природных условий на водосборе учитывается в модели путем представления его площади в виде набора конечных элементов с однородными почвенным и растительным покровами. Характеристики почв и растительности для каждого из этих элементов используются в качестве параметров модели. Значения составляющих водного баланса, а также температур поверхностей растительного покрова и почвы рассчитываются в узлах регулярной сетки с ячейкой, равной по размерам фрагменту изображения AVHRR. Значения этих составляющих для всего водосбора вычисляются как средневзвешенные по площади каждого элемента.

Разработка способов усвоения в модели SVAT спутниковых оценок характеристик подстилающей поверхности включала:

- калибровку и верификацию модели по результатам сопоставления модельных значений радиационной температуры подстилающей поверхности T_s , температур листовой поверхности T_f и поверхности почвы T_g для агрометеостанций водосбора и в узлах регулярной сетки с их спутниковыми аналогами $T_{s,eff}$, T_a и T_{sg} и данными наземных наблюдений;
- выбор метода оценки температур при тематической обработке данных AVHRR путем аналогичного сопоставления значений упомянутых температур и их сезонного хода;
- введение в модель в качестве параметров спутниковых оценок LAI и B и проведение полного комплекса расчетов по модели; сравнение модельных и спутниковых оценок названных выше температур при разных вариантах задания сезонного хода LAI и B для различных угодий по наземным и спутниковым данным;
- подбор по спутниковым данным значений LAI для участков территории, не охваченных наземными наблюдениями;
- расчеты суммарного испарения и других составляющих водного баланса при использовании в качестве переменных модели определенных по данным AVHRR значений температур подстилающей поверхности.

Применение описанного подхода, позволяющего для определения характеристик подстилающей поверхности использовать спутниковую информацию вместо данных наземных наблюдений, делает возможным получение оценок суммарного испарения и других составляющих водного баланса для обширных территорий при недостатке или отсутствии данных наземных наблюдений.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований грант № 04-05-65062.

Оценки радиолокационных контрастов поверхностных загрязнений моря

Кудрявцев В. (Vladimir.Kudryavtsev@niersc.spb.ru), Акимов Д., Иванова Н.

НФ "Международный центр по дистанционному зондированию и окружающей среде", 14 линия В.О. 7а, 199034 Санкт-Петербург, Россия

Предлагается модель удельной эффективной поверхности рассеяния (УЭПР) морской поверхности, учитывающая влияние переменных полей ветра и течений, а также наличие плёнок поверхностных загрязнений. Модель основана на решении уравнения баланса волнового действия, определяющего форму спектра поверхности. Влияние плёнок учитывается посредством модификации коэффициента затухания. Рассмотрено влияние как мономолекулярных плёнок, так и плёнок конечной толщины (загрязнений нефтепродуктами).

Показано хорошее соответствие модельных расчетов и результатов лабораторных и натурных измерений. Приводятся модельные оценки радиолокационных контрастов загрязненной поверхности в зависимости от условий наблюдения и толщины плёнок.

Возможность оптической индикации утечек нефти из свещей в подводных трубопроводах

Левин И.М. 9 (levin@ocopt.spb.ru), Радомысльская Т.М.

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

Рассмотрена задача по определению возможности наблюдения нефтяных капель, находящихся в толще воды, с помощью лазерной системы видения и ТВ-системы, работающей при естественном освещении. Нефтяные капли, в зависимости от диаметра свища, перепада давления, скорости всплытия и скорости течения могут образовывать "объекты" в виде "жгута", сплошного или состоящего из отдельных капель размером d (меняющимся от 2 до 10 мм) и, наконец, на относительно большом расстоянии от трубопровода, в виде сплошных нефтяных пятен значительного размера.

Расчет дальности видимости обозначенных "объектов" (жгута с размером капель $d = 5$ мм и сплошного пятна) проводился для двух типичных водных сред: мутной воды, характерной для мелководных районов (прозрачность по диску Секки $z_0 = 3$ м, показатель ослабления $c = 2 \text{ м}^{-1}$), и чистой воды, характерной для глубоководных участков моря ($z_0 = 25$ м, $c = 0.2 \text{ м}^{-1}$). Для расчета дальности нужно также знать оптические характеристики воды: показатель поглощения, вероятность обратного рассеяния, дисперсию угла рассеяния и параметры индикатрисы рассеяния. Эти характеристики для двух типов вод были определены в соответствии с разработанной нами малопараметрической моделью морской воды [1].

Для расчета использовалась теория подводного видения [2], модифицированная нами для объектов типа "жгута". Расчет велся для стандартных параметров ТВ-систем: средняя мощность излучателя 10 Вт; длина волны излучения 550 нм; диаметр входного зрачка объектива 20 мм; число элементов разложения 600×600 ; чувствительность фотодетектора 0.045 А/Вт; длительность кадра 0.04 сек (лазерная система с отсечкой помехи обратного рассеяния); пороговая освещенность фотокатода 10^{-4} лк, контрастная чувствительность 2% и относительное отверстие объектива 1:2 (ТВ-система).

Коэффициенты яркости воды R рассчитывались по соотношению, полученному и подтвержденному расчетом методом Монте-Карло [3], и $R = 0.05$ для "мутной" воды и $R = 0.01$ для чистой. Поскольку коэффициент отражения нефти в среднем составляет

$R_{об} = 0.04$, видно, что при наблюдении в мутной воде вода ярче нефти, а в чистой, наоборот, нефть ярче воды.

Расчеты показали, что при наблюдении в мутной воде дальность видимости жгута очень мала (меньше 2 м) как при искусственном, так и при естественном освещении. Дальность видимости пятна нефти значительно больше (около 9 м). Однако следует иметь в виду, что при относительно небольшом изменении мутности коэффициент отражения воды может оказаться равным коэффициенту отражения нефти, и тогда контраст будет равен 0 на любом расстоянии. Поэтому для наблюдения в мутных водах лучше применять люминесцентные методы обнаружения нефти.

При наблюдении в чистой воде дальность видимости жгута составляет 15–20 м, а пятна – 30–40 м. При этом, в отличие от случая наблюдения в мутной воде, при естественном освещении дальность видимость несколько больше, чем при искусственном. Таким образом, телевизионное наблюдение в относительно чистой воде (прозрачность по диску более 10 м), может быть использовано для обнаружения как капель, так и сплошных пятен нефти.

Работа поддержана грантом РФФИ 04-05-65133.

1. Levin I., Kopelevich O.. Relationship between the seawater optical properties at 550 nm. *Proc. II Conf. "Current Problems in Optics of Natural Waters" (ONW'2003)*, St. Petersburg, 2005, 289–292.
2. Долин Л.С., Левин И.М. Справочник по теории подводного видения, Л. Гидрометеиздат, 1991.
3. Левин И.М. Коэффициент яркости моря: оценка точности квазиднократного приближения. *Океанология*, 1998, **38**, 6, 946–949.

Моделирование различных режимов возбуждения ионосферных возмущений, генерированных колебаниями земной поверхности

Сураев С.Н. (suraevsergey@phys.msu.ru), Куницын В.Е. (kunitsyn@phys.msu.ru), Ахмедов Р.Р.

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, каф. физики атмосферы, физ. фак.,
Воробьевы горы, 119992 Москва, Россия*

Землетрясения, взрывы, волны цунами порождают на границе раздела земля–воздух атмосферные волны. В связи с тем, что плотность атмосферы с высотой падает, амплитуда акустических волн, и особенно внутренних гравитационных волн, может значительно возрасти в верхней атмосфере, где эти волны проявляют себя в виде ионосферных возмущений, которые могут быть обнаружены радиотомографическим и др. методами. Представленная работа посвящена численному моделированию генерации и распространения акустико-гравитационных волн (АГВ) от разного типа наземных импульсных источников в двумерной земной атмосфере.

Модель строилась на основе системы уравнений сохранения Эйлера. Для двумерной модели решалась система нелинейных гиперболических уравнений гидродинамики методом корректирующих потоков FCT (Flux Corrected Transport). Были промоделированы возмущения атмосферы от импульсных источников разнообразной природы, начиная от короткопериодных, локальных импульсных источников и заканчивая крупномасштабными землетрясениями большой силы. С помощью разработанного метода были вычислены ионосферные волновые возмущения, генерированные во время прохождения акустико-гравитационных волн через верхнюю атмосферу, такие как возмущения горизонтальной и вертикальной компоненты скорости, плотности, температуры, электронной концентрации.

Полученные результаты позволяют выделить два типа возмущений в атмосфере: акустические волны, расположенные над эпицентром возмущения и внутренние гравитационные волны, распространяющиеся в горизонтальных направлениях с наклоном вниз. Период акустических волн составляет 200–250 с, скорость – приблизительно 600 м/с. Период внутренних гравитационных волн составляет порядка 1000–1500 с, скорость этих волн – 200 м/с.

Было установлено, что увеличение периода возбуждающей функции или её амплитуды приводит к более эффективному формированию ВГВ в верхней атмосфере на фоне АВ.

Заметных изменений в пространственном распределении акустико-гравитационных волн в зависимости от изменения фазы возбуждающей функции не наблюдалось.

Разработанная модель может быть использована для выделения и идентификации отклика в ионосфере от различного рода колебаний земной поверхности, наблюдаемых в некоторых случаях перед землетрясениями, зарегистрировать которые трудно традиционными сейсмическими методами.

Расчет распространения радиоволн в слоистой атмосфере и ионосфере

Нестеров И.А. (nia2002@yandex.ru), Голикова Е.В., Куницын В.Е.

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, каф. физики атмосферы, физ. фак.,
Воробьевы горы, 119992 Москва, Россия*

Рассмотрена задача отражения радиоволн от многослойной изотропной ионосферы и тропосферы. Проведено сравнение различных методов расчета коэффициента отражения на примере больших потенциалов различной степени гладкости (основанных как на решении соответствующих дифференциальных уравнений, так и на использовании точных решений, которые существуют в случае представления потенциала набором дельта-функций или набором прямоугольников). Исследована область применимости этих методов, получены оценки погрешностей. Предложен оптимальный численный алгоритм решения данной задачи. Получены результаты моделирования отражения радиоволн от ионосферы с учетом неоднородной тропосферы на модельных профилях показателя преломления (для учета влияния тропосферы используются различные модельные высотные профили показателя преломления, в том числе, облака, температурные инверсии, слои с резким изменением температуры, различными видами разрывов и изломов показателя преломления).

Расчеты коэффициента отражения радиоволн от ионосферы с учетом неоднородной тропосферы показали, что основной вклад в изменение коэффициента отражения вносят профили показателя преломления, содержащие большие градиенты и разрывы. При вертикальном зондировании влияние слоистой атмосферы на отражение радиоволн от ионосферы незначительно. Однако, при рассмотрении задачи наклонного зондирования, влияние тропосферы значительно усиливается и может оказаться существенным.

Особенности волновых структур в акустически активных слоях атмосферы

Сулейменов И.Э. (Esenych@yandex.ru), Аушев В.М., Форменканов Т.А.

Институт ионосферы, Каменское Плато, 480020 Алма-Ата, Казахстан

В работе систематизированы имеющиеся экспериментальные и теоретические доказательства существования акустически активных слоев атмосферы на высотах порядка 80–100 км. Эффективное поглощение энергии солнечной радиации, протекающее на этих высотах за счет реакций фотодиссоциации молекулярного кислорода, приводит к возникновению среды, способной усиливать акустические, акустико-гравитационные, а также внутренние гравитационные волны.

В работе средствами радиоэлектронного имитационного моделирования проведено изучение нелинейных резонансных характеристик волновых структур, образующихся в акустически активном слое атмосферы вследствие параметрического резонансного взаимодействия собственных колебаний атмосферы с частотами, кратными частоте вращения Земли. Рассматривается вариант радиоэлектронной схемы, отвечающей условиям возникновения такого резонанса. Экспериментально показано, что высокая изменчивость

спектров, полученных на основании результатов измерения эмиссии ночного неба, имеет сходную природу со стохастизацией колебаний в параметрическом генераторе.

Измерения проводились на аппаратуре MORTI (Mesopause Oxygen Rotational Temperature Imager) канадского производства, установленной на высокогорной обсерватории, г. Алма-Ата. Установлено, что деформированные волновые фронты колебаний, развивающихся в верхней и средней атмосфере, обладают каустическими точками, в которых амплитуда колебаний достигает максимального значения. Показано, что деформация волновых фронтов имеет место из-за неоднородного распределения температуры в атмосфере; развита теория описания фокусирующих областей на основе обобщенной Фурье-оптики [1, 2]. Предложена классификация указанных особых точек. Показано, что их возникновение существенно влияет на вид спектров колебаний эмиссии, получаемых на основании наземных измерений.

С помощью аппаратуры MORTI был экспериментально исследован фазовый сдвиг между колебаниями температуры и эмиссии. В соответствии с теорией, предложенной в [3], и ее модификациями этот фазовый сдвиг предоставляет информацию о проекции волнового вектора на вертикальную ось. Проанализированы гистограммы, описывающие статистику направлений распространения волны. Показано, что волны преимущественно распространяются в горизонтальной плоскости. Данный вывод полностью соответствует представлениям об акустически активных слоях атмосферы: преимущественное усиление приобретают волны, распространяющиеся в пределах слоя.

Дана теоретическая интерпретация полученных результатов. Показано, что анализ возникновения каустических точек в акустически активных слоях атмосферы может быть проведен на основании аналога двумерного волнового уравнения. Даны оценки потерь энергии, связанной с ее передачей в соседние слои атмосферы. Показано, что для последовательного анализа волновых структур в реальной атмосфере необходима регистрация их спектров пространственных частот.

Обсуждаются возможности прямой регистрации спектров пространственных частот волн, развивающихся в акустически активных слоях атмосферы. Показано, что простейшая оптическая схема такого устройства может быть реализована на основе аппаратного выполнения преобразования Фурье обычной линзой.

1. Suleimenov I.E., Tolmachev Yu.A.. Generalized Fourier optics. III. Description of wavefront reflection from the non-flat mirror in terms of the local curvature. *Optics & Spectroscopy*, 1995, **78**, 110–113.
2. Suleimenov I.E., Tolmachev Yu.A.. On the problem of classification of singular points of caustic surfaces. *Optics & Spectroscopy*, 1995, **79**, 170–172.
3. Krassovsky V.I. Infrasonic variations of OH emission in the upper atmosphere. *Ann. Geophys*, 1972, **28**, 739–751.

Экспериментальные результаты исследований спектральной структуры отражения загрязненных элементов ландшафта

Третьяков Н.Д., Алленов М.И. (allenov@typhoon.obninsk.ru), Иванов В.Н., Коваленко В.А.,
Новиков Н.Н.

НПО "Тайфун", пр. Ленина 82, 249038 Обнинск Калужской обл., Россия

Бирюков В.Г.

Завод «Волковский», с. Волковка Моршанского р-на Тамбовской обл., Россия

Вольвач В.В.

ВНИИСХМ, пр. Ленина 82, 249038 Обнинск Калужской обл., Россия

На полигоне ГУ НПО "Тайфун" (Росгидромет), на котором размещена высотная метеорологическая мачта (ВММ) высотой 310 м с измерительными площадками через каждые 25 м, проводятся экспериментальные исследования оптико-физических, агрофизических, спектральных, фитоактинометрических, пространственно-временных и

других характеристик природных элементов ландшафта: лесов (хвойных, лиственных, смешанных), травяных покровов, водоемов, почв, полей культурных растений, заболоченных участков и искусственно созданных элементов (различных типов почв, водоемов, загрязненных разноуровневыми концентрациями веществ).

Экспериментальные исследования проводятся при помощи высокочувствительной, высокоразрешающей по пространству спектрометрической и другой аппаратуры, подробно освещенной в [1]. Целью исследований является выявление устойчивых признаков (характеристик) элементов для их параметризации и эталонирования при различных метеорологических условиях и условиях освещенности. Размещенная на ВММ аппаратура строго ориентирована, что позволяет обращаться к элементам ландшафта многократно и прослеживать их временную эволюцию. Этот подход значительно сокращает затраты и приводит к повышению качества исследований по сравнению с исследованиями с летательных аппаратов. Выявленные признаки затем можно перенести на крупномасштабные элементы ландшафта, что позволит вносить поправки к измерениям со спутников и других авиакосмических объектов.

В докладе представляются предварительные результаты исследований водоемов, замутненных различными концентрациями минеральных веществ, которые показывают весьма значительное увеличение значений спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ) в отдельных интервалах спектра.

Выявлены интервалы повышенного спектрального отражения от поверхности воды, загрязненной нефтепродуктами, при различных толщинах пленок на воде. Приводятся данные об измерениях коэффициентов энергетической яркости (КЭЯ) на различных стадиях развития растительных покровов (травы, культурных растений), что позволит в дальнейшем использовать результаты для оценки их состояний и повышения качества прогнозирования в экономической деятельности.

1. Алленов М.И., Бирюков В.Г., Иванов В.Н. *Распознавание природных сред, веществ и их загрязнений*. – С.-Пб.: Гидрометеиздат, 2004. – 268 с.

Вариации содержания NO₂ в тропосфере по данным одновременных спутниковых и наземных измерений в районе Санкт-Петербурга

Ионов Д.В. (ionov@troll.phys.spbu.ru), Поберовский А.В., Гончаров С.Н.

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

Глобальный мониторинг содержания двуокси азота в атмосфере стал впервые возможен в 1995 году, когда на борту европейского спутника ERS-2 был запущен прибор GOME (Global Ozone Monitoring Experiment). Помимо информации об общем содержании (ОС) озона, оперативные данные GOME содержат также результаты измерений ОС NO₂. Позднее, в 2002 году был запущен аналогичный по геометрии и принципу измерений ОС NO₂ аппарат SCIAMACHY (SCanning ImAging spectroMeter for Atmospheric CHartography), установленный на европейском спутнике ENVISAT. А в 2004 году состоялся запуск американского спутника AURA, на борту которого в числе прочих, установлен прибор OMI (Ozone Monitoring Experiment), позволяющий также глобально картировать ОС NO₂. В ближайшие годы планируются также запуски аналогов аппаратуры GOME на серии спутников EPS-MetOp – GOME-2 (первый из них запланирован уже в июне 2006 года). Все эти приборы имеют в своей основе сканирующие по пространству спектрометры, осуществляющие надирные измерения уходящего излучения в УФ, видимом и ближнем ИК-диапазоне спектра (а также ИК – аппаратурой SCIAMACHY). Для оперативной обработки данных спутниковых измерений NO₂ используется методика дифференциального поглощения DOAS, аналогичная известному алгоритму обработки наземных спектрометрических измерений ОС NO₂ по рассеянному в зенит видимому излучению.

Ввиду относительно слабого поглощения NO_2 в надирной геометрии спутниковых измерений, используемый алгоритм позволяет определять лишь общее содержание NO_2 на трассе распространения регистрируемого солнечного излучения, приводимое к содержанию в вертикальном столбе с помощью модельных коэффициентов (т.н. воздушных масс). Вместе с тем, существуют методики, позволяющие выделить тропосферную составляющую содержания NO_2 , в целом основанные на особенностях ее пространственного распределения – существенно меньшем масштабе горизонтальных вариаций по сравнению с вариациями содержания NO_2 в стратосфере. Подобный подход, используемый ранее для интерпретации данных GOME и SCIAMACHY рядом исследовательских групп, был впервые реализован в системе обработки данных аппаратуры OMI для оперативного определения содержания NO_2 в тропосфере.

В настоящей работе представлен сравнительный анализ данных спутниковых измерений тропосферного содержания NO_2 в районе Санкт-Петербурга с результатами ежедневных наземных измерений ОС NO_2 в НИИФ СПбГУ (Петергоф) в 2004–2005 гг. Отмечено хорошее качественное согласие (высокая временная корреляция) данных OMI с регистрируемыми в наземных измерениях повышенными дневными содержаниями NO_2 в атмосфере Санкт-Петербурга, особенно в зимнее время. Показаны перспективы использования данных спутниковых и наземных дистанционных измерений содержания NO_2 совместно с автоматизированной системой контроля и управления качеством атмосферного воздуха Санкт-Петербурга (УКВ, Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности, Администрация Санкт-Петербурга) для долговременного мониторинга интенсивности антропогенного загрязнения атмосферы мегаполиса Санкт-Петербурга.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (грант Президента РФ МК-5390.2006.5 и РНП.2.1.1.4166) и Правительства Санкт-Петербурга (PD05-1.5-46, PD06-1.5-5).

Информативность дистанционной оценки спектра деградации экосистем

Гусейнов Г.А. (galib@mail.ru)

Азербайджанское национальное аэрокосмическое агентство, Баку, Азербайджан

Смокий О.И. (soi@ias.spb.su)

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

Проводится сопоставительный анализ спектрально-яркостных и пространственно-контрастных характеристик деградирующих почвенно-растительных, лесных и водных экосистем. Исследуются закономерности их пространственно-временной изменчивости и рассматриваются используемые модели, включая модели динамики популяций и распространения загрязнений. Выделены характерные диапазоны параметров их устойчивых состояний, связанных с определенными идентифицируемыми характеристиками (признаками) их оптических образов. Рассматриваются инварианты, соответствующие преобразованиям относительно условий съемки, на базе которых определяются функционалы информативности.

Формулируется понятие спектра деградации на основе выделения характерных состояний динамики (пространственной изменчивости) экосистемы с переходами при критических значениях параметров между определенным набором образов, выраженных кривыми фазовых портретов со специфическими характеристиками. Последние очевидно соответствуют вполне определенным распределениям распознаваемых признаков степени деградации (плотности популяций, уровня загрязнений), связанных со спектрально-яркостными и пространственно-контрастными характеристиками.

Рассмотрены и сопоставлены широко используемые в литературе функционалы информативности дистанционных данных, построенные на базе критериев Шеннона и Фишера. Проведен анализ целей и круга решаемых задач с помощью рассматриваемых критериев. Предлагается формирование информационного функционала для задач динамики деградирующих экосистем на базе целевой функции в вариационной задаче динамического программирования с использованием уравнения Эйлера.

Общее содержание водяного пара в столбе атмосферы над озером Иссык-Куль

Арефьев В.Н., Кашин Ф.В. (kashin@typhoon.obninsk.ru), Сизов Н.И.

Институт экспериментальной метеорологии, НПО "Тайфун", пр. Ленина 82, 249038 Обнинск, Россия

Семенов В.К. (svk@elcat.kg), Синяков В.П.

Киргизский национальный университет, ул. Манаса 101, 720033 Бишкек, Киргизстан

Приводятся результаты 25-летних измерений методом молекулярно-абсорбционной спектроскопии содержания водяного пара в столбе атмосферы на станции мониторинга атмосферы "Иссык-Куль", расположенной в центральной части Евразийского континента на северном берегу высокогорного озера Иссык-Куль.

За весь период измерений с мая 1980 по апрель 2005 года среднее годовое содержание водяного пара в толще атмосферы увеличилось на $\sim 4.5\%$ со средней скоростью $\sim 0.18\%$ в год. Статистический анализ экспериментальных данных показал следующее.

Временные вариации средних месячных содержаний водяного пара включают колебания с периодами 4, 6, 12, 17, 18, 43, 52, 110 и 235 месяцев. Наиболее мощным из них является 12-месячное колебание. Максимумы вариаций наблюдаются летом, а минимумы – зимой. Средняя за время измерений амплитуда вариаций составила (1.9 ± 0.2) г/см².

Распределение средних месячных содержаний водяного пара за 25 лет наблюдений отличается от нормального. Оно асимметричное и многовершинное. Медиана смещена в сторону меньших значений. Коэффициент асимметрии положителен, а коэффициент эксцесса отрицателен. Распределения в отдельные годы имеют такой же вид.

Для прогноза изменений среднего месячного и среднего годового содержания водяного пара предложена уточненная модель, включающая линейный тренд и сумму колебаний с указанными выше периодами.

Коэффициенты корреляции содержаний водяного пара с приземными температурами и абсолютными влажностями равны 0.94 и 0.96. Найденные методом наименьших квадратов из результатов измерений параметры уравнений регрессий позволяют оценить величину содержания водяного пара в столбе атмосферы по данным о приземной влажности или приземной температуры со средними квадратичными отклонениями 13 и 17%, соответственно.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 04-05-64702) и ISTC (грант Кг-763).

Анализ временной изменчивости общего содержания окиси углерода в районе Санкт-Петербурга

Макарова М.В. (zaitis@troll.phys.spbu.ru), Поберовский А.В., Осипов С.И.

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

Спектроскопические измерения общего содержания окиси углерода в атмосфере для района Санкт-Петербурга проводятся в НИИФ СПбГУ с 1995 г. Имеющийся ряд наблюдений позволяет проводить не только оценки временной изменчивости, но и исследовать факторы,

определяющие эту изменчивость. Особое внимание уделяется анализу изменений общего содержания СО в июле–сентябре 1998, 2002–2005 гг., когда наблюдались высокие значения общего содержания СО (лесные пожары в Сибири и Европе). Выделяются 1998 и 2002 гг., когда в августе–сентябре регистрировались значения на уровне зимнего максимума (около $0.3\text{--}0.4 \cdot 10^{-9}$ мол/см²). Пожары 2002 года в Ленинградской, Псковской и Новгородской областях в основном определяли аномалии общего содержания СО, наблюдавшиеся с конца июля до начала октября 2002 г. Измерения общего содержания СО 6 сентября 2002 г., проведенные непосредственно в струе двух больших по площади лесных пожаров (в Ленинградской, Псковской и Новгородской областях), позволили провести оценки интенсивности эмиссии окиси углерода от этих лесных пожаров. При этом также были использованы: спутниковая информация о расположении и площади очагов лесных пожаров в рассматриваемый период 2002 г.; расчеты распространения примеси в атмосфере с помощью дисперсионной части модели HYSPLIT (ARL NOAA) для 6 сентября 2002 г. Эмиссия СО с 1 м² территории лесных пожаров по нашим оценкам составляет $(0.07\text{--}0.14)$ кг/м².

На примерах проиллюстрировано влияние динамических атмосферных процессов на наблюдаемые изменения общего содержания СО: рассмотрены случаи прихода материковых и океанских воздушных масс, а также вертикальные перемещения воздушных масс.

Представлен сравнительный анализ значений общего содержания СО, полученных в районе Санкт-Петербурга и на нескольких станциях сети NDSC (Harestua, Kiruna, Ny-Alesund, Bremen).

Исследования проведены при поддержке грантов Президента РФ МК-1836.2005.5 и Министерства образования и науки Российской Федерации (лот РП-13.1/001).

Экспериментальные лабораторные исследования флуктуаций светового поля, трансформированного взволнованной водной поверхностью

Осадчий В.Ю. (tavrida@mailbox.alkor.ru), Левин И.М., Савченко В.В.

Санкт-Петербургский филиал института океанологии им. П.П. Ширинова, В.О. 1 линия 30, 199053 Санкт-Петербург, Россия

Одна из основных характеристик светового поля вблизи границы раздела атмосфера–взволнованная водная (в частности, морская) поверхность – яркость восходящего излучения. Накоплено большое количество измерений яркости и коэффициента яркости моря в видимой области спектра. Во всех измерениях регистрируются флуктуации яркости, обусловленные: (1) поверхностным волнением и (2) изменениями гидрооптических характеристик водной толщи в поле зрения приборов. Кажется очевидным, что эти флуктуации можно использовать для определения параметров волнения, однако в реальности это вызывает затруднения по ряду причин. Разная величина поля зрения фотометров, используемых для измерений, и разная высота их установки над уровнем морской поверхности приводят к тому, что регистрируется излучение, трансформированное участками поверхности разной площади, что при неизменности параметров волнения должно, как мы предполагаем, приводить к изменению спектра флуктуаций яркости из-за конечности радиуса корреляции поверхности и изменения соотношения "характерная длина волны/размер зондируемого пятна". К настоящему времени связи в системе характеристик "спектр флуктуаций яркости поверхности – спектр волнения – размер зондируемого пятна – радиус корреляции поверхности" практически не изучены.

Настоящая работа является продолжением ранее начатых нами исследований в этом направлении [1] и ставит целью восполнить упомянутый пробел. Проведен цикл исследований на лабораторно-модельной установке (ЛМУ) [2], дооборудованной аппаратурой для исследования флуктуаций потока света, отраженного взволнованной водной

поверхностью при изменении упомянутых выше характеристик. Поток регистрируется фотометром с переменным полем зрения, позволяющим изменять диаметр зондируемого участка водной поверхности в пределах от 0.5 мм до 120 мм. Таким образом, число зеркальных точек, попадающих в поле зрения фотометра, может меняться от одной до многих сотен.

Получены спектры плотности мощности потока отраженного поверхностью света для 12-ти размеров зондируемого пятна. Оценки спектра выполнены авторегрессионным методом с использованием алгоритма Левинсона. Наблюдается перемещение максимума спектра флуктуаций светового потока при изменении поля зрения фотометра, связанное с конечностью радиуса корреляции поверхности. Наибольшее смещение максимума спектра достигается при диаметре зондируемого пятна примерно равном радиусу корреляции уклонов поверхности.

1. Осадчий В.Ю., Ткемаладзе А.А., Шифрин К.С. Лабораторно-модельные исследования связи спектров флуктуаций яркости и пространственно-корреляционных характеристик взволнованной водной поверхности. В кн.: *Оптика моря и атмосферы*. Ленинград, 1988, 428–429.
2. Osadchy V., Levin I., Savchenko V., Frantsuzov O. Laboratory-modeling installation for study of light and image transfer through wavy water surface. *Proc. 5 Workshop on Physical Processes in Natural Waters RAS*. Irkutsk, 2000, 68–71.

Разработка методики определения температуры, влажности и содержания основных МГС атмосферы по данным измерений теплового ИК излучения наземным Фурье-спектрометром

Виролайнен Я.А. (Yana.Virolainen@JV14952.spb.edu), Мишина К.А.

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

Настоящая работа посвящена созданию физико-математических основ и программно-методического обеспечения (ПМО) технологии дистанционного зондирования полей температуры, влажности и содержания основных МГС атмосферы с использованием наземного инфракрасного Фурье-спектрометра повышенной информативности (ИКФС-2), создаваемого во ФГУП "Центр Келдыша" (Москва).

Разработан алгоритм и программа прямого расчета нисходящего излучения и его вариационных производных в ИК области спектра (5–15 мкм), обладающая высокой вычислительной точностью и быстродействием. Алгоритм и программа использованы для моделирования переноса нисходящего теплового ИК излучения в атмосфере, а также в составе созданного программного обеспечения для обработки спектров излучения атмосферы. При решении обратной задачи применялся статистический подход, позволяющий наиболее полно использовать весь предшествующий опыт наблюдения за рассматриваемым объектом.

С помощью разработанного ПМО оценены потенциальные возможности и точность определения температурного профиля и содержания целого ряда МГС (H_2O , O_3 , CH_4 , N_2O) атмосферы в условиях безоблачной атмосферы. Проанализировано влияние на результаты восстановления атмосферных параметров задаваемой априорной информации.

Разработанный подход апробирован на ансамбле экспериментальных спектров, измеренных в Потсдамской Метеорологической Обсерватории (Германия) прибором EISAR, имеющим характеристики, аналогичные прибору ИКФС-2.

Исследования проведены при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (грант лот РП-13.1.001, РНП.2.1.1.4166 и РНП.2.2.1.1.3836).

Исследование влияния гидрооптических моделей на результаты восстановления параметров качества воды

Макарова Т.А. (tanya@niersc.spb.ru), Поздняков Д.В., Овсянников Д.А.

НФ "Международный центр по дистанционному зондированию и окружающей среде", 14 линия В.О. 7а, 199034 Санкт-Петербург, Россия

Исследования связаны с изучением влияния применения различных гидрооптических моделей на результаты восстановления параметров качества воды. Работа проводилась на примере изучения явления цветения сине-зеленых водорослей в Балтийском море в июле 2005 года.

Восстановление параметров качества воды было проведено с использованием двух различных гидрооптических моделей (модели для мезотрофного водоема и модели, специализированно учитывающей гидрооптические свойства сине-зеленых водорослей). В ходе проведенных исследований было выявлено, что гидрооптическая модель оказывает очень существенное влияние на результаты восстановления: пространственные распределения параметров качества воды (концентрации хлорофилла фитопланктона, минеральной взвеси и растворенного органического вещества) оказываются хотя и схожими по очертаниям, однако, существенно различающимися по абсолютным значениям восстанавливаемых величин. При этом результаты, полученные с использованием модели, специализированно учитывающей гидрооптические свойства сине-зеленых водорослей, представляются более адекватными по сравнению с результатами, полученными с использованием модели для мезотрофного водоема, что в будущем предполагается подтвердить независимыми измерениями *in situ*.

Работа выполнена в рамках развития синергетического подхода с применением, наряду с данными судовых измерений, спутниковых данных в видимом, инфракрасном и микроволновом диапазонах с целью получения более точной картины экологии и гидродинамики.

Метод определения оптической толщи по наблюдаемому максимуму яркости неба вблизи горизонта

Сакерин С.М. (sms@iao.ru), Журавлева Т.Б., Насртдинов И.М., Фирсов К.М.

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

На основе численного моделирования полей диффузной радиации безоблачного неба ранее было показано [1], что зависимость яркости неба от зенитного угла наблюдения Z имеет вид немонотонной функции с максимумом яркости в пригоризонтной зоне ($Z = 80 \div 90^\circ$). Предельным угловым положением максимума яркости неба – при высокой прозрачности атмосферы (общая оптическая толщина менее 0.05) – является направление на горизонт. При увеличении замутнения атмосферы (или с уменьшением длины волны) угловое положение наблюдаемого максимума яркости неба $Z_{\max}$ смещается в область меньших зенитных углов. Вариации других оптических характеристик (кроме оптической толщи) оказывают слабое влияние и могут быть заданы моделями. Рассмотренный факт дал основание предложить новый метод определения аэрозольной оптической толщины (АОТ) атмосферы: при известных параметрах эксперимента (азимут наблюдения, зенитный угол Солнца), АОТ выражается в виде линейной зависимости от $Z_{\max}$.

Приводятся результаты модельных оценок применения "углового" метода определения АОТ в различных условиях – при разной геометрии наблюдений, а также вариациях альbedo подстилающей поверхности, индикатрисы и альbedo однократного рассеяния аэрозоля. Расчеты показали, что минимальная погрешность определения АОТ реализуется в тех азимутах наблюдения относительно Солнца, где реализуется углы рассеяния $\sim 60^\circ$ (то есть, где пересекаются индикатрисы аэрозольного рассеяния). На основе результатов натурных

измерений зенитных распределений яркости неба, была проведена апробация разработанной методики. Результаты сравнения полученных значений АОТ атмосферы с данными стандартного "метода прозрачности" (по прямой солнечной радиации) показали, что различие данных двух методов менее 0.02, а коэффициент взаимной корреляции – 0.83. Достоинство "углового" метода состоит в том, что он не требует абсолютной калибровки и отбора "калибровочных" ситуаций – достаточно провести относительные измерения зенитного распределения яркости неба. Разработанная методика может найти применение для контроля и оперативной "калибровки" результатов, получаемых "методом прозрачности". Кроме того, на примере полосы поглощения водяного пара 0.94 мкм, оценивается возможность распространения методики на определение общего содержания газовых компонент атмосферы.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 05-05-64410.

1. Сакерин С.М., Журавлева Т.Б., Насртдинов И.М. Численное моделирование угловой структуры яркости неба вблизи горизонта при наблюдении с Земли. Часть 3. Закономерности углового распределения. *Оптика атм. и океана*, 2005, **18**, 3, 242–251.

Методика определения температурно–влажностных характеристик атмосферы и подстилающей поверхности по данным микроволновых спутниковых наблюдений

Образцов С.П. (Sobraztsov@rbcmail.ru), Щукин Г.Г.

Филиал ГГО им. А.И. Воейкова "Научно-исследовательский центр дистанционного зондирования атмосферы",
188685 Лен. обл. п. Воейково, Россия

Начиная с 2000 г. у нас и за рубежом был запущен ряд ИСЗ с многоканальными СВЧ радиометрами на борту в области частот 6–190 ГГц, таких, как МТВЗА-ГЯ (Метеор-3М), МТВЗА-ОК (СИЧ-1М), AMSU (NOAA 15, 16, 17), предназначенных для дистанционного зондирования атмосферы и подстилающей поверхности с целью определения вертикальных профилей температуры и влажности атмосферы, водозапаса облачности, идентификации наличия и оценки интенсивности осадков, определения температуры поверхности, степени волнения для морской поверхности, биомассы растительности и влажности суши. В данной работе представлены результаты разработок методических основ интерпретации данных наблюдений этих радиометров, численных исследований их возможностей и точности определения перечисленных температурно–влажностных характеристик состояния атмосферы и подстилающей поверхности.

Для решения поставленной задачи создана радиационная модель атмосферы, состоящая из коэффициентов поглощения атмосферных газов, оптических характеристик облачности и осадков, излучательных способностей различных типов подстилающей поверхности, создан алгоритм расчета уходящего микроволнового излучения и его вариационных производных по перечисленным выше параметрам атмосферы и поверхности с учетом эффектов поляризации и многократного рассеяния излучения в облаках и осадках. Методика и алгоритм решения нелинейной обратной задачи основана на использовании метода статистической регуляризации для комплексного восстановления параметров состояния атмосферы и поверхности.

Численные исследования точности восстановления показали, что вертикальный профиль температуры можно определять с погрешностью 1.5–3 К и влажности 15–30% в зависимости от типа СВЧ радиометра и требуемого вертикального разрешения, температуру поверхности с погрешностью также 1.5–3 К в зависимости от типа радиометра, типа поверхности (вода, суша), наличия облачности и осадков. Для радиометров типа МТВЗА численные оценки дают значения погрешности определения водозапаса облачности 5–10%.

СЕКЦИЯ 7. РАДИАЦИОННЫЕ АЛГОРИТМЫ В МОДЕЛЯХ ПРОГНОЗА ПОГОДЫ И КЛИМАТА

Председатель: к.ф.-м.н. П.С. Спорышев (ГГО, Санкт-Петербург)

Сопредседатели: д.ф.-м.н. Л.Р. Дмитриева-Аппаго (ГМЦ, Москва),

д.ф.-м.н. Б.А. Фомин (ИАЭ, Москва)

Однопараметрические аппроксимационные формулы для функций пропускания CO₂ в области 15 мкм

Родимова О.Б. (rod@iao.ru), Богданова Ю.В. (wert@academ.tsc.ru)

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

Наиболее распространенным способом ускорения и стандартизации расчетов в радиационных блоках климатических моделей является применение разложений радиационных характеристик в ряды экспонент.

В данной работе для расчетов радиационных потоков используется версия k -распределения, позволяющая получить точные выражения для коэффициентов разложения исследуемых функций в ряды экспонент, в том числе и непосредственно для радиационных потоков [1]. Сравнение полученных выражений для потоков с однопараметрическими аппроксимационными формулами, полученными Chou с соавторами [2], свидетельствует о подобии их структуры. Это позволяет предположить, что аппроксимационные выражения для поглощающих масс, приводящие их к некоторым средним температуре и давлению, можно перенести на коэффициенты разложения в ряд экспонент. Расчеты, проведенные для стандартной модели атмосферы лета средних широт в спектральном интервале 720–800 см⁻¹ в случае поглощения CO₂, а также в спектральном интервале 980–1100 см⁻¹ в случае поглощения O₃ с лорентцевским контуром показали принципиальную возможность получать подобные выражения систематическим образом [3].

В данной работе в line-by-line расчетах в интервале 720–800 см⁻¹ для количественной оценки влияния формы контура в крыле линии на радиационные потоки в выбранном спектральном интервале вместо Лорентцевского контура, обрываемого на некотором расстоянии от центра линии, используется контур с крылом линии, правильно описывающим экспериментальные данные Берча и имеющим функциональную форму, следующую из теории крыльев линий [4]. Предпринята также попытка автоматизировать вывод аппроксимационных формул на примере нескольких спектральных интервалов в спектре CO₂.

Однопараметрические аппроксимационные формулы для радиационных потоков, полученные нами в случае поглощения CO₂ в области полосы 15 мкм, отличаются от формул Chou в следующих отношениях: коэффициенты разложения в ряды экспонент находятся с помощью точных формул; в расчетах line-by-line используется контур, правильно описывающий температурное и спектральное поведение коэффициента поглощения в далеких крыльях линий; благодаря отсутствию дополнительных предположений алгоритм получения аппроксимационных формул применим для произвольных спектральных интервалов.

Работа поддержана Российским Фондом Фундаментальных Исследований, грант № 05-05-64256.

1. Tvorogov S.D., L.I.Nesmelova, O.B.Rodimova. k -distribution of transmission function and theory of Dirichlet series. *JQSRT*, 2000, **66**, 243–262.
2. Chou M.-D., Ridgway W.L., Yan M. M.-H. One-parameter scaling and exponential-sum fitting for water vapor and CO₂ infrared transmission functions. *J. Atmos. Sci.*, 1993, **50**, 14, 2294–2303.
3. Богданова Ю.В., Родимова О.Б. Однопараметрические аппроксимационные формулы для функций пропускания CO₂ в области 15 мкм. *Выч. технол.*, 2005, **10**, ч.I спец. выпуск, 87–93.
4. Несмелова Л.И., Родимова О.Б., Творогов С.Д. *Контур спектральной линии и межмолекулярное взаимодействие*. Новосибирск: Наука, 1986, 216 с.

Влияние пространственной неоднородности микрофизических характеристик облаков на радиационные свойства атмосферы

Дмитриева-Аппаго Л.Р. (dmitrieva@rhmc.mecom.ru)

Гидрометцентр России, Большой Предтеченский 9-13, 123242 Москва, Россия

Memarian M.H.

Department of Physics, Yazd University, 'Yazd', Iran, P.O.B. 89195-741

Распределение потоков солнечного излучения в атмосфере и на ее границах определяется распределением и количеством газовых компонент, примесей и облачности в атмосфере. Основной вклад в вариации потоков и притоков излучения вносят облака, отличающиеся по своим микрофизическим свойствам, которые формируются под влиянием метеорологических условий и свойств подстилающей поверхности. Одной из причин вариаций радиационного баланса на земной поверхности может быть смена подстилающей поверхности.

Размер облачных частиц над морем больше чем над сушей, в связи с чем поступление солнечного излучения на морскую поверхность увеличивается. Увеличение радиационного баланса на морской поверхности может достигать $100\text{--}200\text{ Вт/м}^2$ при различиях эффективных радиусов облаков до $5\text{--}7\text{ мкм}$. Изменение альбедо системы при этом составляет $-0.12\text{--}(-0.15)$. Различия в радиационных притоках тепла к отдельным слоям атмосферы могут составлять $3\text{--}5\text{ К/сут}$. Таким образом, учет особенностей микрофизических характеристик облаков представляется важным в задачах прогноза погоды и климата.

Географические особенности временного хода глобального потепления

Спорышев П.В. (pvs@main.mgo.rssi.ru), Катцов В.М.

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

В рамках подготовки очередного Четвертого оценочного доклада международной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) был организован проект по проведению климатических расчетов с помощью глобальных моделей совместной циркуляции атмосферы и океана (СЦАО) нового поколения при заданном внешнем воздействии в виде роста атмосферного содержания парниковых газов и аэрозолей. В настоящем докладе рассматривается вопрос о степени соответствия географической структуры временного хода наблюдаемого глобального потепления результатам таких модельных расчетов. Исследование базируется на расчетах с помощью ансамбля из 17 моделей СЦАО климата 20-го века при заданных в соответствии с наблюдениями концентрациях парниковых газов и аэрозолей, а также на сценарных расчетах климата 21-го века с использованием сценария выбросов A2, в соответствии с номенклатурой МГЭИК. Основное внимание было сосредоточено на оценке времени наступления статистически значимых устойчивых изменений температуры воздуха у поверхности (УИТ) в различных регионах Земного шара. При этом нас интересовали не столько абсолютные даты УИТ, сколько соответствующие различия между отдельными регионами Земли.

В целом, по результатам исследования можно сделать следующие выводы: (1) согласно данным наблюдений и модельным расчетам, устойчивое потепление уже произошло в значительной части регионов Земного шара; (2) анализ продемонстрировал качественное согласие между данными наблюдений и данными модельных расчетов, что вселяет оптимизм относительно достоверности последних, по крайней мере, при использовании ансамблевого осреднения; (3) поскольку единственной причиной УИТ в моделях является рост атмосферных концентраций парниковых газов, подобие модельной и наблюдаемой

структуры временного хода температурных изменений является еще одним аргументом в пользу антропогенной природы наблюдаемого глобального потепления.

Настоящая работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 05-05-65093 и 06-05-64660) и проекта INTAS (грант 03-51-4620).

Долгосрочный прогноз параметров Южного Колебания и климатических параметров Южной Америки и некоторые особенности их корреляций

Хорозов С.В. (hsoft@baltnet.ru), Будовый В.И., Медведев В.А.
ООО "Фирма Hsoft", ул. Севастьянова 19-12, 236000 Калининград, Россия

Martin I.M.
Mathematics and Physics Department, University of Taubate, Taubate SP, Brazil

Белоголов В.С.
Мурманский государственный технический университет, Мурманск, Россия

Представлены долгосрочные (несколько десятков лет) прогнозы параметров Южного колебания (ENSO) и климатических параметров некоторых регионов Южной Америки и Европы. Моделирование проводилось на основе физико-статистической модели, в основу которой положена концепция влияния солнечной активности на парниковый эффект посредством некоторого физического механизма.

Предикторами статистической части модели являются интегральные энергетические параметры системы "океан-атмосфера", прогнозируемые физической частью модели. Анализ модели показал, что она может быть успешно адаптирована к крупномасштабным климатическим параметрам.

Феномены El-Nino и La-Nina используются как индикаторы региональных климатических изменений в бассейне Тихого океана. Региональные климатические параметры (в частности, количество осадков) часто определяются через корреляционные связи с параметрами ENSO. Поэтому в данной работе затронут вопрос устойчивости статистических связей между параметрами ENSO и количеством осадков в некоторых регионах Южной Америки.

Сравнительный анализ взаимосвязей между региональными климатическими параметрами и параметрами ENSO в 20-м и 21-м столетиях позволил выявить возможное изменение взаимосвязей на рубеже столетий. В соответствии с результатами моделирования это явление может быть объяснено происходящим в настоящее время изменением глобального энергетического состояния системы "океан-атмосфера" и соответствующим изменением режима циркуляции.

Модель позволила с заблаговременностью около одного года предсказать феномен La-Nina в конце 2005–начале 2006 гг. Прогноз был представлен на первой конференции по феномену El-Nino (Alexander von Humboldt International Conference on "The El-Nino phenomenon and its global impact", Guayaquil, Ecuador, May 16–20, 2005). Приводится оценка качества данного прогноза.

Результаты моделирования позволяют подвергнуть сомнению существующую концепцию антропогенно обусловленного современного потепления, которое в ближайшее время может смениться похолоданием, несмотря на то, что концентрация углекислого газа в атмосфере еще долгое время может повышаться.

К вопросу о характере и механизмах влияния солнечной активности и космических лучей на годовое количество осадков в различных регионах планеты

Хорозов С.В. (hsoft@baltnet.ru), Будовый В.И., Медведев В.А.
ООО "Фирма Hsoft", ул. Севастьянова 19-12, 236000 Калининград, Россия

Martin I.M.
Mathematics and Physics Department, University of Taubate, Taubate SP, Brazil

Белоголов В.С.
Мурманский государственный технический университет, Мурманск, Россия

Проанализированы статистические связи между годовой интенсивностью космических лучей, солнечной активностью (годовые значения чисел Вольфа) и годовым количеством осадков в различных регионах планеты. Корреляция между годовыми значениями солнечной активности и количества осадков в различных регионах достаточно слабая. Абсолютная величина коэффициентов корреляции различных знаков, как правило, не превышает 0.26. Вместе с тем, абсолютная величина коэффициентов корреляции между средними за 7 лет значениями этих величин значительно выше и достигает 0.65. Такое возрастание коэффициента корреляции говорит о том, что между солнечной активностью и осадками существует достаточно тесная связь. Однако влияние солнечной активности на количество осадков не является немедленным, а непрерывно реализуется как суммарное (накапливающееся) воздействие этого фактора за несколько предшествующих лет.

С другой стороны, коэффициенты корреляции (в случае относительно больших абсолютных значений) между годовыми значениями интенсивности космических лучей и годовым количеством осадков, как правило, несколько больше, чем между годовыми значениями солнечной активности и количеством осадков в этих же точках. Проведенные исследования показали, что, несмотря на тесную корреляцию между интенсивностью космических лучей и солнечной активностью, можно выявить различия во временном характере их влияния на годовое количество осадков.

Кроме того, коэффициенты корреляции между рассматриваемыми факторами и годовым количеством осадков имеют выраженную пространственную локализацию положительных и отрицательных значений. В частности, областям локализации отрицательных значений коэффициентов корреляции между интенсивностью космических лучей и количеством осадков, как правило, соответствуют области локализации положительных значений. При этом локализация областей соответствует перераспределению осадков, вызываемому блокировочными процессами.

Выдвинута гипотеза о влиянии интенсивности космических лучей на блокировочные процессы. Такое влияние может заключаться в дополнительном усилении антициклонической деятельности с ростом интенсивности космических лучей и должно приводить:

- к относительному уменьшению количества осадков (к отрицательным коэффициентам корреляции между интенсивностью космических лучей и количеством осадков) в зонах сопредельных с центральными областями климатологических полей высокого давления;
- к относительному увеличению количества осадков (к положительным коэффициентам корреляции между интенсивностью космических лучей и количеством осадков) в тех районах, в которых нет явного климатологического преобладания антициклонических форм циркуляции и часто происходят процессы блокирования перемещения циклонов;
- к относительному увеличению количества осадков (к положительным коэффициентам корреляции между интенсивностью космических лучей и количеством осадков), связанному с усилением конвективных процессов во внутритропических зонах конвергенции.

Соответственно, при уменьшении интенсивности космических лучей происходят обратные процессы.

Как показали результаты анализа, действительно существует относительно тесная корреляция между средними значениями по 7 годам суммарной годовой продолжительности эпизодов блокирования в Северном полушарии и интенсивностью космических лучей (0.7), в то время как аналогичный коэффициент корреляции с солнечной активностью значительно меньше (-0.4). Это в некоторой степени подтверждает выдвинутую гипотезу.

Таким образом, представляется, что солнечная активность и космические лучи являются комплексным фактором, влияющим на климат и, в частности, на осадки. При этом характер их влияния различен. Солнечная активность через некоторый физический механизм оказывает накапливающееся (в течение 6 и более лет) влияние на циркуляцию в системе океан–атмосфера. Космические лучи, дополняя это влияние, оказывают более быстрое влияние на антициклоническую деятельность и, соответственно, на блокировочные процессы.

Мезомасштабные модели MM5 и WRF в портале АТМОС

Лаврентьев Н.А.

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

Беликов Д.А.

*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия
Томский государственный университет, пр. Ленина 36, 634050 Томск, Россия*

Вражнов Д.А.

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

Старченко А.В., Фазлиев А.З. (faz@iao.ru)

*Институт оптики атмосферы СО РАН, пр. Академический 1, 634055 Томск, Россия
Томский государственный университет, пр. Ленина 36, 634050 Томск, Россия*

Работа над созданием информационных систем, для которых предметной областью является климат или погода, является актуальной задачей в силу ряда причин, не последняя из которых состоит в необходимости концентрации высокопроизводительных ресурсов в ряде научных центров. Следует отметить проекты PRISM (<http://prism.enes.org/>) и LEAD [1]. Наша работа посвящена описанию информационной системы (ИС) (<http://climate.atmos.iao.ru/star/mm5>, <http://climate.atmos.iao.ru/star/wrf>), в основу которой положены мезомасштабные модели MM5 и WRF [2, 3]. Созданная ИС основана на четырехуровневой архитектуре клиент-сервер, в которой запрос клиента обрабатывается на сервере, вычисления проводятся на кластере, а выходные данные клиента хранятся на сервере баз данных.

Обе мезомасштабные модели используются для исследования конвективных систем, городских островов тепла и т.д. В ИС пользователю предоставлена возможность реализации только части функциональных возможностей данных моделей, что обусловлено, как показало тестирование, неустойчивостью работы моделей при произвольных значениях входных данных. В докладе представлено описание интерфейсов и некоторых их особенностей, обусловленных нашей реализацией. Отметим, что в настоящее время система отображения использует только карты западносибирского региона.

Задание входных данных происходит в несколько этапов. На первом из них проводится инициализация рельефа, категорий землепользования, растительности и других стационарных географических параметров выбранных областей. Затем задаются граничные условия и интерполяция начальных приближений на расчетную сетку модели. Последний этап предполагает непосредственную подготовку к запуску модели MM5 (или WRF), за которой следует и сам запуск. Построение графиков для физических характеристик,

полученных в результате выполнения вычислений в мезомасштабной модели, основано на использовании пакета GrADS.

Авторы благодарны РФФИ за поддержку проекта (грант 04-07-90219), в рамках которого выполнена данная работа.

1. Droegemeier K.K., K. Brewster, Ming Xue, etc. Service-oriented environments for dynamically interacting with mesoscale weather. *Computing in Science & Eng.*, 2005, 7, 6, 12–29.
2. Grell G.A., Dudhia J., Stauffer D.A. A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5). *NCAR Tech. Note*, NCAR/TN-398+IA. 1993. 122p.
3. Klemp, J. B., Wilhelmson R. The simulation of three-dimensional convective storm dynamics. *Journ. of Atm. Sciences*, 1978, 35, 1070–1096.

О точности параметризации скорости лучистого выхолаживания атмосферы излучением в 15 мкм полосе CO₂ в присутствии возмущений температуры солнечными приливами

Огибалов В.П. (vpo@lmupa.phys.spbu.ru)

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

Лучистое выхолаживание в 15 мкм полосе CO₂ 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. Однако расчёт лучистых притоков тепла в ИК полосах CO₂ до сих пор является достаточно громоздкой задачей, поскольку в силу уменьшения частоты молекулярных столкновений с высоты 65–70 км начинается нарушение локального термодинамического равновесия (НЛТР) для возбуждённых по деформационной моде колебательных состояний молекул CO₂, переходы из которых формируют 15 мкм полосу. Поэтому для моделей общей циркуляции атмосферы (МОЦА) создаются и постоянно совершенствуются простые численные схемы (т.н. параметризации) для приближенного расчёта скорости лучистого выхолаживания в 15 мкм полосе CO₂.

В настоящее время во многих МОЦА используется параметризация [1]. Однако эта параметризация была разработана и тестирована для сглаженных климатологических профилей температуры, тогда как наблюдаемые профили демонстрируют возмущения температуры, обусловленные распространением в атмосфере волн разного масштаба и разномасштабной турбулентностью. При этом надо иметь в виду, что в силу нелинейной зависимости лучистого притока тепла от температуры атмосферы приток, усреднённый за период волны по набору температурных профилей для разных фаз волны, в слое 70–140 км может заметно (на 20% на высоте порядка 75 км) отличаться от притока, полученного для среднего, невозмущённого колебаниями температурного профиля [2–3].

В данной работе было выполнено моделирование фоновой температуры и амплитуды колебаний температуры за счет мигрирующего суточного и полусуточного приливов. По этим данным с помощью точного метода решения задачи НЛТР для ИК эмиссий CO₂ в земной атмосфере [4] были построены высотно-широтные распределения фоновых величин лучистого притока тепла в 15 мкм полосе, а также величин возмущений этого притока тепла за счет совокупного воздействия суточного и полусуточного мигрирующего прилива. Отличительной особенностью этих новых эталонных расчётов является отказ от приближения изолированности линий, т.е. детально было учтено перекрытие по частотам линий, принадлежащих различным колебательным переходам. (Последнее усовершенствование в модели переноса излучения в полосах CO₂ приводит в слое НЛТР лишь к незначительным (менее 1 К/сутки) изменениям в величинах лучистого притока по сравнению с рассчитанными в приближении изолированных линий.)

Аналогичные высотно-широтные распределения величин лучистого притока тепла в 15 мкм полосе были рассчитаны с помощью параметризации [1]. Их сравнение с распределениями эталонных величин лучистого притока показало следующее: 1) для невозмущенных приливом профилей температуры указанная параметризация по-прежнему способна воспроизводить величины притока с погрешностью менее 1.5 К/сутки во всём высотном диапазоне от 15 до 120 км; 2) для возмущённых приливом температурных профилей погрешность возрастает до 4 К/сутки в узком диапазоне высот 70–80 км; 3) эти погрешности оказываются в противофазе с приливным возмущением температуры, что приводит к неспособности при использовании параметризации [1] воспроизвести в слое 70–75 км оцененный в [2–3] эффект увеличения скорости лучистого выхолаживания, усреднённого за период приливов, по сравнению с выхолаживанием, полученным для среднего, невозмущённого приливами температурного профиля. Последнее обстоятельство, по-видимому, требует некоторую модификацию параметризации [1].

Работа была поддержана Российским Фондом Фундаментальных Исследований, грант № 03-05-64700.

1. Fomichev V.I., Blanchet J.-P., and Turner D.S. Matrix parameterization of the 15 μm CO₂ band cooling in the middle and upper atmosphere for variable CO₂ concentration. *J. Geophys. Res.*, 1998, **103**, 11505–11528.
2. Shved G.M., Ogibalov V.P., Pogoreltsev A.I. Effect of planetary waves on cooling the upper mesosphere and lower thermosphere by the CO₂ 15- μm emission. *Ann. Geophys.*, 2004, **22**, 3383–3394.
3. Огибалов В.П., Погорельцев А.И., Федulina И.Н., Швед Г.М. Дополнительное лучистое выхолаживание верхней мезосферы и нижней термосферы, обусловленное приливыми вариациями температуры. *Изв. РАН, ФАО*, 2006, **42**, 1, 92–101.
4. Огибалов В.П., Фомичёв В.И., Кутепов А.А. Радиационные притоки тепла в инфракрасных полосах CO₂ в средней и верхней атмосфере. *Изв. РАН, ФАО*, 2000, **36**, 4, 493–504.

СЕКЦИЯ 8. АППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ РАДИАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕРЫ И ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ И ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

Председатель: д.ф.-м.н. **Ю.А. Борисов** (ЦАО, Долгопрудный)

Сопредседатели: проф. **Н.Ф. Еланский** (ИФА РАН, Москва), к.ф.-м.н. **Е.И. Гречко** (ИФА РАН, Москва), к.ф.-м.н. **В.Ф. Радионов** (ААНИИ, Санкт-Петербург)

Автоматизированная система параметризации и распознавания форм облачности

Третьяков Н.Д., Алленов М.И. (allenov@typhoon.obninsk.ru), Иванов В.Н.
НПО "Тайфун", пр. Ленина 82, 2249038 Обнинск Калужской обл., Россия

Кондратюк В.И.

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

Радиационные модели форм облачности при различном количестве (балле), разработанные по многолетним наблюдениям их пространственно-временных структур собственного излучения, опубликованы в [1, 2]. Они получены при помощи высокочувствительной, высокоразрешающей по пространству аппаратуры, недостатком которой являлось низкое быстродействие, в результате чего нельзя получить за короткое время полусферическое изображение облачного поля без заметных искажений. Поэтому модели применимы для различных интервалов зенитных углов.

В докладе представляется описание быстродействующего макета автоматизированной системы для параметризации и распознавания форм облачности, разработанного специально для наблюдений облачности и ее эволюции, где вышеописанный недостаток исключен при помощи установки сканирующей системы, выполненной в виде вращающейся вокруг оптической оси по образующей конуса зеркала с частотой 10 Гц с изменяющимся углом между оптической осью и его плоскостью и проецирующей на приемное устройство радиометра с перестраиваемым (от единиц минут до единиц градусов) угловым разрешением полусферическое изображение поля собственного излучения облачности. Полусферическое изображение регистрируется за время, при котором облачное поле остается практически постоянным, заметно не изменяется. Распознавание осуществляется как днем, так и ночью автоматически по набору статистических характеристик форм облачности в диапазоне 8–13 мкм, которые приведены в вышеупомянутой монографии на основе визуальной международной классификации форм облачности, идентифицированных с пространственной структурой собственного излучения этих форм.

Автоматизированная система апробирована в натурных условиях, получены результаты, подтверждающие ее успешное применение в различных научно-технических направлениях. На систему подана заявка на изобретение.

1. Алленов А.М., Алленов М.И., Иванов В.Н., Соловьев В.А. Стохастическая структура излучения облачности. – С.-Пб.: Гидрометеоздат, 2000. – 175 с.
2. Алленов М.И. Методы и аппаратура спектрорадиометрии природных сред. – М.: Гидрометеоздат, 1992. – 264 с.

Фурье-спектрометр для дистанционного зондирования атмосферы Земли в интересах метеорологии

Завелевич Ф.С., Головин Ю.М., Десятов А.В., Мацицкий Ю.П., Никулин А.Г.
(kercc@elnet.msk.ru)

Исследовательский Центр имени М.В. Келдыша, Онежская ул. 8, 125438 Москва, Россия

Романовский А.С.
МГТУ имени Н.Э. Баумана, Москва Россия

Горбунов Г.Г.
Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова, Биржевая линия 12, 199034 Санкт-Петербург, Россия

Городецкий А.К. (gora@iki.rssi.ru)
Институт космических исследований РАН, Профсоюзная ул. 84/32, 117997 Москва, Россия

Инфракрасный фурье-спектрометр ИКФС-2 создается для метеорологического и экологического мониторинга атмосферы Земли с борта космических аппаратов (КА) серии "Метеор". Прибор предназначен для измерения спектров уходящего излучения системы "атмосфера-поверхность", необходимых для получения следующих видов информации:

- профилей температуры в тропосфере и нижней стратосфере с погрешностью 1.0–1.5 К, вертикальным разрешением до 1 км в нижней тропосфере;
- профилей влажности в тропосфере с погрешностью 10% (в терминах относительной влажности), вертикальным разрешением 1–2 км в нижней тропосфере;
- общего содержания озона с погрешностью не хуже 5% и вертикального профиля содержания O_3 в озоновом слое с погрешностью 10% (содержание O_3 в 2-х или 3-х слоях атмосферы);
- температуры подстилающей поверхности с погрешностью $\leq K$.

Кроме этого будут получены данные для определения общего содержания малых газовых составляющих атмосферы: CH_4 , N_2O и др.

Прибор состоит из модуля интерферометра, который измеряет спектральную яркость объекта, модуля сканера, направляющего поле зрения прибора в нужную точку пространства, модуля обработки, управления и питания. Охлаждение приемника излучения в полете осуществляется с помощью радиационного холодильника. Для обеспечения радиометрической точности измерений в течение всего времени функционирования на орбите разработана методика и аппаратура бортовой (полетной) калибровки прибора. Параметры бортового эталонного источника излучения – $\epsilon \geq 0.99$; погрешность поддержания температуры ≤ 0.2 К; апертура – 78 мм; неравномерность температуры по апертуре не более 0.1–0.2 К.

Основные технические характеристики фурье-спектрометра: диапазон спектра – $665\text{--}2000\text{ см}^{-1}$ (5–15 мкм); спектральное разрешение $\leq 0.5\text{ см}^{-1}$; порог обнаружения (при длине волны 13 мкм) – $10^{-4}\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{ср}\cdot\text{см}^{-1})$; поле зрения прибора на уровне 0.5 – 40 мрад; время получения спектра в одной точке – 0.6 с; информационный поток – 560 Кбит/с; масса прибора ≤ 50 кг; энергопотребление ≤ 70 Вт.

На базе вакуумного стенда ФГУП "Центр Келдыша" и созданной ВНИИОФИ прецизионной модели черного тела, работающей в широких диапазонах длин волн и температур, создается стенд для калибровки ИК аппаратуры ДЗЗ.

Радиоспектрометры миллиметрового диапазона для наземного дистанционного зондирования озона и окиси хлора в атмосфере

Розанов С.Б. (sergroz@sci.lebedev.ru), Игнатьев А.Н., Кропоткина Е.П., Логвиненко С.В.,
Лукин А.Н., Соломонов С.В.,

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Ленинский пр. 53, 119991 Москва, Россия

Божков В.Г., Перфильев В.И.

Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов, Томск, Россия

Есепкина Н.А., Круглов С.К., Саенко И.И.

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, Санкт-Петербург, Россия

Никифоров П.Л., Штанюк А.М.

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

Пирогов Ю.А.

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

Турыгин С.Ю.

Специальное конструкторское бюро Института радиотехники и электроники РАН, Фрязино, Россия

В ФИАН совместно с НИИПП, СПбГТУ, ИПФ РАН, МГУ, СКБ ИРЭ РАН и другими организациями разработаны передвижной озонометр нового поколения и спектрометр для дистанционного зондирования атмосферной окиси хлора на миллиметровых (ММ) волнах. Собственное тепловое излучение озона и окиси хлора будет измеряться с поверхности Земли на частотах вращательных спектральных линий молекул $^{16}\text{O}_3$ (142.175 ГГц, длина волны 2.1 мм) и $^{35}\text{Cl}^{16}\text{O}$ (204.35 ГГц, длина волны 1.5 мм).

Основные характеристики спектрометров (рабочие частоты, чувствительность, частотное разрешение, полосы анализа, углы наблюдений и др.) определялись и оптимизировались в ходе компьютерного моделирования, которое включало в себя решение прямой и обратной задач дистанционного зондирования [1, 2]. Выбранные спектральные линии озона и окиси хлора лежат вблизи центров окон прозрачности атмосферы в ММ диапазоне. Каждый спектрометр состоит из малолшумящего приёмника, анализатор(ов) спектра и управляющего компьютера со специальным программным обеспечением. В обоих приборах используются супергетеродинные приёмники со смесителями на планарных диодах с барьером Шоттки. Для снижения шумовой температуры приёмника диапазона 1.5 мм до требуемых значений (500–700 К в однополосном режиме) он охлаждается до температуры около 20 К с помощью микрокриогенной системы замкнутого цикла. Неохлаждаемый приёмник диапазона 2 мм имеет однополосную шумовую температуру около 1500 К. Гетеродинами приёмников являются генераторы на диодах Ганна с умножителями частоты, охваченные системами фазовой автоподстройки частоты. Входные квазиоптические узлы приёмников обеспечивают выбор оптимального зенитного угла наблюдений, подавление зеркальной частоты смесителя, калибровку приёмников и их работу в модуляционном режиме с регулировкой яркостной температуры опорного излучателя.

Для спектрометров разработаны широкополосный 1000-канальный акустооптический спектроанализатор (АОС) с полосой около 500 МГц и частотным разрешением около 1 МГц, а также два фильтровых анализатора спектра (ФАС) с оптимизированным по полосе частотным разрешением. Широкополосный 95-канальный ФАС имеет полосу анализа также около 500 МГц, его разрешение меняется от 0.1 МГц в центре полосы до 20 МГц на краях. Узкополосный 50-канальный ФАС с полосой анализа около 10 МГц имеет разрешение, меняющееся от 0.1 МГц в центре полосы до 0.6 МГц на краях. АОС и широкополосный ФАС могут использоваться в обоих спектрометрах, узкополосный ФАС предназначен для измерения спектров ночного мезосферного озона. Величина ослабления измеряемых линий в тропосфере определяется по средней яркостной температуре неба в широкой полосе частот (0.5 ГГц). В настоящее время дополнительно разрабатывается перестраиваемый по частоте гетеродин для спектрометра 1.5-мм диапазона, что позволит использовать этот прибор для

измерения спектральных линий других малых газовых составляющих атмосферы: N_2O , CO , HNO_3 и др.

Для восстановления вертикальных распределений озона и окиси хлора по форме их спектральных линий, уширенных давлением, созданы специальные алгоритмы и программы, использующие метод Тихонова в форме принципа обобщенной невязки. Результаты компьютерного моделирования показывают, что спектрометры обеспечат эффективное восстановление вертикальных распределений озона на высотах 15–75 км (до 95 км ночью) и окиси хлора на высотах 15–45 км. Это позволит использовать данные приборы для решения широкого круга задач экологии и физики атмосферы.

Работа поддержана РФФИ (грант 03-02-17436) и Программами фундаментальных исследований ОФН РАН "Проблемы радиофизики" и "Радиоэлектронные методы в исследовании окружающей среды и человека".

1. Розанов С.Б., И.И. Собельман, В.Г. Божков и др. *Изв. вузов. Радиофиз.* 2005, **48**, 10–11, 857–862.
2. Розанов С.Б., С.В. Соломонов, А.Н. Игнатьев, Е.П. Кропоткина. *Сб. докл. XXI Всерос. науч. конф. "Распространение радиоволн"*, Йошкар-Ола, 25-27 мая 2005 г., **2**, 241–245.

О результатах сравнительных наблюдений актинометрами и пиранометрами фирмы Kipp&Zonen и табельными приборами Росгидромета

Бычкова А.П., Луцько Л.В. (lutsko@main.mgo.rssi.ru), Лыков А.Д., Соколенко С.А.

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

По инициативе всемирно известной фирмы Kipp&Zonen (Нидерланды) в 2004 г. на экспериментальной базе ГГО в пос. Воейково проводились сравнительные наблюдения актинометрического комплекса этой фирмы с табельными приборами, используемыми на актинометрической сети станций Росгидромета. Перечень актинометрических приборов, участвовавших в сравнениях, приведен в Таблице. Сравнимые приборы были подключены к единой автоматизированной измерительной системе, что обеспечивало синхронность измерений.

Измеряемая величина	Приборы		
	Kipp&Zonen	ГГО	ГГО и "Пеленг"
Прямая солнечная радиация	CH1	М-3	
Суммарная радиация	CM21	М-80М	Пеленг СФ-06
Рассеянная радиация	CM21	М-80М	

Анализ полученных данных, выполненный графо-аналитическим методом, показал, что результаты измерений сравниваемыми актинометрами сходятся не при всех условиях измерений (характеристиках облачности, высоте Солнца, прозрачности атмосферы). На графике связи между значениями прямой солнечной радиации, измеренными актинометром CH1 и актинометром М-3, построенном по всем данным за летний период 2004 г., точки расположились полосой, одинаковой по ширине и соответствующей в среднем 50 Вт/м^2 . По направлению полоса отклоняется от биссектрисы и показывает, что при низких значениях прямой солнечной радиации актинометр CH1 показывает ниже, чем актинометр М3, а при высоких – выше. Например, при радиации 200 Вт/м^2 данные актинометра CH1 в среднем ниже на 18 Вт/м^2 (9% от измеряемого значения), а при 940 Вт/м^2 (самом высоком, измеренном в период сравнительных наблюдений) – выше на в среднем 1.5 %. Совпадение результатов измерений наблюдалось при значениях прямой солнечной радиации от 650 до 800 Вт/м^2 . Это именно те условия, при которых проводится поверка актинометров по солнцу и передается им шкала измерений солнечной радиации. При анализе результатов измерений, полученных в условиях одинаковой прозрачности атмосферы, расхождения в показаниях актинометров оказываются в 4–5 раз меньшими, чем по данным при всех условиях.

Расхождения в показаниях актинометров могут объясняться их конструктивными различиями, в частности, центральный угол зрения у актинометра М-3 равен 10° , а у актинометра СН1 – 5° . Из-за этого при сильном околосолнечном ореоле, возникающем в условиях низкой прозрачности атмосферы, на приемную поверхность актинометра М-3 поступает больший по величине поток солнечного излучения, чем у актинометра СН1. Это обстоятельство необходимо иметь в виду в случае использования актинометра СН1 фирмы Kipp&Zonen для определения характеристик прозрачности атмосферы.

Результаты сравнений пиранометров показали, что при измерении суммарной радиации значения, измеренные пиранометром СМ21, ниже измеренных пиранометром М80 в среднем на 6%, что, в принципе, лежит в пределах допускаемых погрешностей сравниваемых пиранометров. Связь между показаниями приборов не зависит от высоты солнца, величины измеряемой радиации, условий облачности.

При измерениях рассеянной радиации углы затенения сравниваемых пиранометров от прямой солнечной радиации были разными и соответствовали принятым методикам обеих сторон: для пиранометра М-80 угол затенения равен 10° , а для пиранометра СМ21 – 5° . По этой причине при большом околосолнечном ореоле показания пиранометра СМ21 должны были бы быть выше, чем пиранометра М-80, однако на практике это не подтвердилось: значения рассеянной радиации, измеренные пиранометром М80, оказались выше измеренных пиранометром СМ21. Причем наблюдается зависимость от величины измеряемой радиации: при радиации 100 Вт/м^2 превышение составляет порядка 7%, а при радиации выше 450 Вт/м^2 – не более 1%. Зависимость от высоты Солнца не обнаружена. Одной из причин расхождений могут быть различные спектральные характеристики приборов, поскольку пиранометр М-80 имеет черно-белую приемную поверхность, а пиранометр СМ21 – черную. ГГО и фирма Kipp&Zonen считают целесообразным в дальнейшем провести соответствующие исследования, несмотря на то, что полученные расхождения лежат в пределах допускаемых погрешностей сравниваемых пиранометров.

Пиранометром "Пеленг СФ-06" (разработанным совместно ГГО и ОАО "Пеленг") измерялись часовые суммы суммарной радиации. В среднем расхождения со значениями, измеренными пиранометром СМ21, лежат в пределах 1% и не зависят от условий измерений.

Газокорреляционный ИК-радиометр для дистанционного зондирования атмосферы

Дементьев Б.В. (dement@sci.lebedev.ru), Бешменев А.С., Николаев А.И., Шилин Н.В.
Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Ленинский пр. 53, 119991 Москва, Россия

Виролайнен Я.А., Поляков А.В.

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

Проблема дистанционного контроля содержания примесей в атмосфере актуальна как для больших городов, где имеет место скопление транспорта и экологически опасных производств, так и для обширных регионов с небольшой плотностью населения, где отсутствуют средства мониторинга опасных ситуаций природного и техногенного характера. К важнейшим примесям относятся метан и окись углерода, являющиеся маркерами опасных ситуаций и играющие ключевую роль в радиационном балансе Земли и химии тропосферы.

Газо-корреляционный метод измерений позволяет осуществлять оперативное картографирование горизонтального распределения примесей, что даёт возможность определения местоположения, мощности, а в ряде случаев и размеров источников загрязнения. Как правило, взаимоисключающие требования к измерительной аппаратуре, такие как высокое быстродействие и спектральное разрешение, малые габариты, минимальный поток выходных данных определяют выбор этого метода.

Газокорреляционный радиометр выделяет из общего спектра нескольких атмосферных газов линии газа, тождественного корреляционному газу, находящемуся в специальном объеме (газовом фильтре) внутри прибора. Заданием оптической толщины объема с корреляционным газом и модуляцией оптической толщины прибор настраивается на измерения конкретного газа, находящегося в определенном диапазоне высот над земной поверхностью. При этом в полезном сигнале на выходе приемно-усилительного тракта прибора одновременно содержится информация обо всех линиях исследуемого атмосферного газа, входящих в область спектрального пропускания прибора.

В радиометре с помощью двух прерывателей одновременно осуществляются два взаимодополняющих типа модуляции входного излучения: а) селективная модуляция в узких линиях исследуемого газа, характеризующая прошедшее в линиях исследуемого газа излучение; б) неселективная модуляция, которая осуществляется во всем рабочем диапазоне спектра, включая относительно широкие прозрачные участки между линиями, и характеризует зондирующее излучение. Для определения содержания газа в заданном слое атмосферы используется отношение соответствующих сигналов, в большинстве случаев нечувствительное к фону и его спектральным особенностям.

Разработка малогабаритных газокорреляционных ИК-радиометров для аэрокартографии содержания СО и СН₄ в пограничном слое атмосферы с высот до 20 км ведется с перспективой использования полученных результатов для спутниковой аппаратуры.

На экспериментальном образце радиометра проведены детальные исследования характеристик прибора с целью уменьшения аппаратурной составляющей ошибки и выявления факторов, ограничивающих его чувствительность. В том числе небалансных сигналов, обусловленных неоднородностью оптических элементов, а также неточностью изготовления растровых прерывателей излучения и ячеек газового фильтра. Сформулированы требования к системам стабилизации температуры фотоприемника и частоты модуляторов входного излучения. Проработана компактная схема радиометра с апертурной модуляцией излучения, не требующая входного коллиматора.

Методом прямого расчета (интегрирования по волновому числу) выходных сигналов радиометров исследованы возможности определения содержания метана и СО при самолетных измерениях отраженного земной поверхностью солнечного излучения. Потенциальная точность зондирования общего содержания метана в полосе 2.2 мкм в зависимости от типа подстилающей поверхности, высоты наблюдения и зенитного угла Солнца оценена в 2–3%, а СО в полосе 2.3 мкм – в 50–100%.

Для интерпретации результатов измерений создан статистический ансамбль профилей термодинамических (давление, температура) и газовых (водяной пар, метан, окись углерода) параметров для лета средних широт, характеризующий изменчивость указанных параметров. Проведено численное моделирование измерений. Для высот зондирования 1–20 км и зенитных углов Солнца 40–70° численная погрешность определения ОС метана составляет 4%, погрешность измерения ОС СО – около 100% от фонового содержания.

В настоящее время готовятся натурные испытания экспериментального образца газокорреляционного радиометра, в ходе которых полученные результаты будут сопоставлены с данными независимых измерений. Испытаны макеты основных узлов и разработан эскизный проект самолетных образцов радиометра.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 05-05-08066) и МНТЦ (проект 2353).

УФ-поляриметр для изучения стратосферного аэрозоля

Невоводский Е.П., Мороженко А.В., Неводовский П.В. (nevod@mao.kiev.ua)
Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, ул. Ак. Заболотного 27, 03680 Киев, Украина

Гераимчук М.Д.
Национальный технический университет Украины "КПИ", Киев, Украина

В 2004г. Главная астрономическая обсерватория НАН Украины предложила Национальному космическому агентству Украины провести космический эксперимент под шифром "Аэрозоль" по исследованию стратосферного аэрозоля для выяснения причин изменения озонового слоя.

Суть эксперимента заключается в том, чтобы с помощью УФ-поляриметра, установленного на борту Украинского молодежного спутника (УМС-1), систематически в течение каждого из его оборотов вокруг Земли проводить измерения поляризационной составляющей диффузно-отраженного земной атмосферой солнечного излучения в диапазоне длин волн 240–270 нм. Полученные пространственно-временные зависимости этих измерений позволят судить о причинах, вызывающих эти изменения для разных участков Земного шара.

Поляризационный метод исследований базируется на преобразовании вектора Стокса светового потока в его интенсивность. Эти преобразования могут осуществляться статическим и модуляционным способами. Модуляционный метод базируется на измерении интенсивности поляризационного излучения, которое принудительно модулируется поляризационным элементом во времени. Статический способ базируется на одновременном измерении интенсивности излучения двух разделенных взаимно перпендикулярных поляризационных компонент. В первом способе предъявляются очень жесткие требования к идентичности обоих приемников света, а во втором требуется наличие сложного поляроидного модулятора.

Далее рассматриваются возможные схемы реализации данного прибора, пригодного для установки на микроспутник. Ограниченные возможности платформы микроспутника УМС-1 вынудили нас в качестве полезной нагрузки для эксперимента "Аэрозоль" предложить простую стационарную двухканальную схему УФ-поляриметра, в которой поляризационная призма раскладывает исследуемый поток света, по отношению к плоскости поляризации, на обыкновенный и необыкновенный потоки. Далее световой поток попадает на приемники света, где он превращается в электрический сигнал, который и считывается системой регистрации. В качестве фотоприемников света предлагается использовать фотоумножители фирмы "HAMAMATSU" в комплекте с усилителями и дискриминаторами той же фирмы.

Реализация такого проекта даст возможность провести поляризационные исследования стратосферного аэрозоля Земли.

Обращение слабых сигналов и достоверность результатов лидарных измерений

Егоров А.Д. (egorovad@rambler.ru), Потапова И.А., Ржонсницкая Ю.Б.
Филиал ГГО НИЦ ДЗА, Карбышева 7, 194021 С.-Петербург, Россия

Рассматривается проблема установления достоверности, с которой аэрозольные характеристики определяются по результатам лидарных измерений сигналов обратного рассеяния. Проблема имеет место при зондировании атмосферы на больших расстояниях от лидара, в том числе, при исследовании климата. Она достаточно сложна, поскольку мощность света, рассеянного в обратном направлении, должна быть определена очень точно. Результаты определения этой величины могут быть недостаточно точны, если используются данные, полученные до посылки зондирующего импульса. Ошибки определения

аэрозольных параметров существенно зависят также от используемого метода обработки данных.

Алгоритмы, которые должны быть использованы для успешного анализа лидарных данных, базируются на новом строгом решении лидарного уравнения, включающего неизвестную мощность фоновой засветки атмосферы. Это решение было использовано для определения коэффициента ослабления однородной атмосферы. В результате был найден критерий для определения степени качества функционирования лидарных систем.

Анализ точности получаемых результатов, выполненный с учетом экспериментальных данных, показал, что найден ряд новых эффективных алгоритмов для обработки слабых сигналов обратного рассеяния. Точность лидарных измерений может быть повышена путем использования зависимости результатов от радиуса зондирования. Исследование показало, что асимметричные схемы обработки лидарных данных (с применением различных шагов дифференцирования) много более эффективны по сравнению с симметричными схемами.

Малобюджетный радиометрический авиационный комплекс дистанционного картирования подстилающей поверхности в СВЧ- диапазоне

Рыбаков Ю.В. (y.rybakov@mail.ru), Кузьмин С.В., Воронин В.А., Журавлев А.Г.,
Кугушев Г.А., Семенов Е.А.

Санкт-Петербургский Государственный Политехнический Университет, Политехническая 29, 195251 Санкт-Петербург, Россия.

Известно, что любое нагретое тело излучает электромагнитные волны в широком диапазоне частот. Бесконтактный прием этого излучения с помощью высокочувствительных приемных устройств является принципом дистанционного определения характеристик подстилающей поверхности.

В качестве систем дистанционного зондирования приборы ИК-диапазона применяются чаще, чем приборы диапазона СВЧ, что вызвано их более высокой разрешающей способностью и меньшей стоимостью. Однако системы СВЧ-радиометрии обладают неоспоримыми преимуществами с точки зрения всепогодности и большей проникающей способности. Кроме того, в настоящее время появилась возможность использования в СВЧ-радиометрах крупноблочных СВЧ-узлов, разработанных для систем спутникового телевидения и космической связи. Большой объем производства таких узлов и, соответственно, их низкая цена позволяют на порядок снизить стоимость СВЧ-радиометрических комплексов дистанционного зондирования.

В настоящей работе представлен такой малобюджетный комплекс, использующий серийно-выпускаемые конверторы Ку-диапазона и сферическую линзу с центральной симметрией (линзу Люнеберга). Комплекс выполнен в виде многолучевой антенной системы на основе линзы Люнеберга с набором СВЧ-приемников радиометров полной мощности, промышленной системы сбора данных и персонального компьютера для архивации и визуализации результатов измерений.

Серийная линза Люнеберга имеет диаметр 460 мм и вес 10 кг. Вокруг нее по дуге $1.5R$ размещены восемь облучателей диапазона $f = 10.7\text{--}12.7$ ГГц, с помощью которых можно получить веер лучей в требуемом секторе. Дешевые СВЧ-приемники-радиометры используют в качестве основы серийные конверторы "Golden Interstar", имеющие коэффициент шума 0.3 дБ, усиление 55–60 дБ и выход по промежуточной частоте 950–2150 МГц. Промышленный модуль I-7017f фирмы ICPDAS имеет восемь аналоговых каналов ввода с максимальной частотой выборки 75 Гц и разрешением 12 бит. Через интерфейсный модуль I-7520 сигналы приемников подаются на com-порт компьютера.

Приходящие на вход компьютера сигналы имеют разную амплитуду, что вызвано разбросом параметров конверторов. Эти различия устраняются программно – для этого

используется среда программирования LabView. Данная среда программирования позволяет создавать так называемые виртуальные приборы – программы, позволяющие получать и обрабатывать в реальном времени данные, поступающие в компьютер с выхода измерительного прибора. В проекте используется программа, специально разработанная для модуля I-7017f, которая была несколько изменена нами в соответствии с требованиями к выдаваемой комплексом информации.

Сигналы с восьми радиометров образуют линейную (строчную) развертку участка просматриваемой поверхности. Кадровая развертка образуется за счет собственного движения авианосителя. Для настройки комплекса в условиях закрытого помещения использовалось нагреваемое "черное тело", представляющее собой контейнер с теплоизолирующими стенками, заполненный поглотителем. К нижней части присоединяется воздушнонагревательная система. В основе проведения измерений лежит возможность контролируемого изменения температуры поглощающего материала, обеспечивающего заданное изменение интенсивности радиотеплового излучения.

Разработанный комплекс может выполнять задачи по обнаружению лесных и торфяных пожаров, оценке ледовой обстановки и т.д.

В докладе приводятся структурная схема комплекса, характеристика основных элементов и результаты лабораторных и полигонных испытаний.

Исследование и отработка системы изменения оптической разности хода на основе маятникового механизма для фурье-спектрометра ИКФС-2

Никулин А.Г. (anikulin@mail.ru)

Исследовательский Центр имени М.В. Келдыша, Онежская ул. 8, 125438 Москва, Россия

Одним из основных оптикоэлектронных и электромеханических узлов фурье-спектрометра является система перемещения зеркал, обеспечивающая заданную циклограмму работы прибора. В докладе приведен обзор существующих конструктивных исполнений этой системы, обосновывается выбор исполнительного устройства для перемещения маятникового механизма с зеркалами-триэдрами.

Подробно рассмотрены алгоритмы управления механизмом перемещения зеркал-триэдров, основанные на методах прямого цифрового управления. Для прибора ИКФС-2 (фурье-спектрометр для температурно-влажностного зондирования атмосферы Земли с борта космического аппарата "Метеор-М") обосновывается выбор алгоритма управления, повышающего быстродействие системы регулирования путем введения управляющего сигнала не только по скорости перемещения зеркал-триэдров, но и по ее производной. Моделируется неравномерность процесса движения маятникового механизма на участке съема интерферограммы при различных возмущающих воздействиях. Отмечается важность минимизации отклонения скорости от номинального значения, указываются ошибки, возникающие в измеряемой интерферограмме при отклонении скорости движения маятникового механизма от равномерного.

В заключение в докладе приводятся данные экспериментальной отработки системы механизма перемещения зеркал-триэдров, разработанной совместно Центром Келдыша с МГТУ им. Баумана, обеспечивающего перемещение зеркал-триэдров на расстояние ± 8.5 мм за 0.5 с. при неравномерности скорости менее 0.3%, а также обеспечивающее суммарное время разгона и торможения менее 0.1 с. Приводится метод определения оптимальных коэффициентов алгоритма регулирования и экспериментальные данные отработки системой различных возмущающих воздействий.

Исследования возможностей автоматизации контроля достоверности рассеянной радиации, измеряемой на актинометрических станциях

Ерохина А.Е., Луцько Л.В. (lutsko@main.mgo.rssi.ru)

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

Вопросу обеспечения достоверности результатов измерений, выполняемых на наблюдательной сети Росгидромета, уделяется большое внимание на всех этапах ее движения. Актинометрическая информация, получаемая на метеорологических станциях, проходит контроль достоверности в территориальных управлениях гидрометеослужбы (УГМС), а также в ГУ "ГГО им. А.И.Воейкова" (ГГО), где заносится в режимно-справочный банк данных "Актинометрия". Алгоритмы, по которым была разработана существующая программа автоматизированного контроля (первая версия, разработанная в 2003 г.) обеспечивают довольно приближенный контроль, в результате чего отбраковка материалов наблюдений бывает недостаточной. Ввиду несовершенства существующая версия программы контроля требует значительной доли ручного труда высококвалифицированного актинометриста и нуждается в уточнении. Для этого в ГГО начат поиск алгоритмов, обеспечивающих более точный автоматизированный контроль данных по измеряемым видам радиации. Данная работа посвящена рассеянной радиации.

Разрабатываемые алгоритмы контроля должны основываться только на тех актинометрических и метеорологических параметрах, информация о которых содержится в получаемых на сети материалах актинометрических наблюдений, поскольку использование дополнительных данных из других источников не может обеспечить оперативности контроля. Существующая программа контроля рассеянной радиации содержит алгоритм проверки лишь на непревышение экспериментально установленного максимального значения. Этого явно недостаточно, поскольку рассеянная радиация в значительной степени зависит от условий измерений, в основном от облачности, прозрачности атмосферы, высоты солнца. Для условий безоблачного неба (общая облачность не более 2 баллов) характеристики рассеянной радиации имеются в литературе. Однако для контроля материалов регулярных наблюдений большой интерес представляют также условия переменной облачности.

В процессе поиска усовершенствованных алгоритмов в данной работе выполнен анализ материалов наблюдений 20 актинометрических станций за период 1976–95 гг. Рассмотрена связь рассеянной радиации D с прямой солнечной S в различных условиях измерений. Наиболее удобным при проведении анализа материалов наблюдений оказалось использование отношения рассеянной радиации к прямой солнечной (D/S), поскольку при этом автоматически частично учитывается влияние прозрачности атмосферы. Анализ проводился графо-аналитическим методом.

При рассмотрении зависимости величины D/S от облачности на всех графиках наблюдается большое рассеяние точек, однако прослеживаются границы верхних и нижних границ области возможных значений D/S . Связь величины D/S непосредственно с прямой солнечной радиацией S оказывается более тесной, чем с облачностью: меньшая ширина полосы рассеяния точек на графиках, более отчетливо прослеживаются границы верхних и нижних значений. С ростом величины S ширина области рассеяния точек на графиках резко уменьшается. Если при безоблачном небе в одних и тех же условиях прозрачности атмосферы величина D/S от высоты солнца почти не зависит, то в условиях наличия облаков связь с высотой солнца проявляется. Распределение данных по 10-градусным интервалам высоты солнца обеспечивает еще более узкие полосы рассеяния точек на графиках. Границы верхних и нижних значений хорошо аппроксимируются степенной формулой.

Дальнейшее уточнение алгоритмов контроля возможно при учете зависимости рассеянной радиации от состояния подстилающей поверхности. Сопоставление значений D/S , полученных в зимний (при снежном покрове) и в летний (при травяном покрове) периоды показало более высокие величины D/S в зимний период (аналогичные соотношения имеют место также и при безоблачном небе).

Таким образом, показана возможность автоматизации контроля измеряемых на сети данных о рассеянной радиации на базе экспериментально получаемых аппроксимационных формул, учитывающих значения прямой солнечной радиации, высоту солнца и состояние подстилающей поверхности.

Метод коррекции результатов спутниковых исследований атмосферы

Галилейский В.П. (gvp@iao.ru), Колеватов А.С.

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

Житницкий Е.А., Набиев Ш.Ш. (nabiev@imp.kiae.ru), Фомин Б.А.

Институт молекулярной физики РНЦ "Курчатовский институт", пл. И.В. Курчатова 1, 123182 Москва, Россия

В данной работе представлены методы сопоставления, контроля и коррекции приборами наземного базирования результатов измерений спектрометров, установленных на спутниках для зондирования атмосферы, включая определения состояния облачности.

Описана разработанная оптическая станция кругового обзора, которая предназначена для оценки оптического и метеорологического состояния трассы и восстановления трехмерной пространственной модели наблюдаемого пространства.

Представлен импульсно-периодический (частота повторения импульсов до 100 Гц, длительность импульса 1–2 мс, энергия в импульсе до 30 Дж, расходимость менее 0.5°) источник широкополосного излучения ($\lambda = 0.2\text{--}1.6$ мкм) и специальный приемник для высотного зондирования (до 10 км), дающий возможность получения спектроскопической информации в УФ, видимом и ИК диапазонах, а также подсветки атмосферных неоднородностей в темное время суток.

Представляется также соответствующее программное обеспечение, расчетная часть которого представляет собой самостоятельные автономные, платформо-независимые модули в стандарте Fortran 90.

Основной целью создания такого оптического программно-аппаратного комплекса является получение количественных экспериментальных спектроскопических данных, при сравнении которых с результатами спутниковых измерений появляется возможность более достоверно судить о физико-химическом состоянии атмосферы в реальном времени.

Применение Фурье спектроскопии для дистанционного зондирования приземного слоя атмосферы

Синявский И.И. (syn@mao.kiev.ua), Сосонкин М.Г., Иванов Ю.С., Ежевская Т.Б.

Главная астрономическая обсерватория НАНУ, Ак. Заболотного 27, 03680 Киев, Украина

Активизация антропогенного воздействия на атмосферу стимулирует интенсивность исследований пространственных и временных трендов ее газового состава. Особый интерес представляют радиационно-активные газы H_2O , CO_2 , CH_4 , NO , N_2O , O_3 .

Измерения концентраций малых газовых составляющих способствуют более глубокому пониманию фотохимических процессов, протекающих в земной атмосфере. Существенно, чтобы эти измерения проводились одновременно по достаточно большому количеству примесей. Использование Фурье-спектрометра позволяет решать проблему дистанционного зондирования атмосферы, удовлетворяя это требование.

В Главной астрономической обсерватории НАН Украины накоплен опыт регулярных измерений состава приземного слоя атмосферы с помощью Фурье-спектрометра. Основу используемого прибора составляет интерферометр, выполненный по схеме "двойной кошачий глаз". Главное его преимущество по сравнению с другими приборами – это небольшие размеры и большая устойчивость оптической схемы к разъюстировкам.

Спектральный диапазон Фурье-спектрометра составляет 2–12 мкм ($800\text{--}500\text{ см}^{-1}$), со спектральным разрешением около 2 см^{-1} . Наш опыт показывает, что такое разрешение является достаточным для эффективного определения поглощения газов.

Точность определения длины волны в спектре определяется длиной волны гелий-неонового лазера референтного канала и составляет 0.001 см^{-1} . Время, необходимое для получения экспериментального спектра, – около 3 сек. Для определения концентраций выявленных газов разработано специализированное программное обеспечение, использующее базу данных HITRAN. Процесс обработки спектров и определения концентраций длится около 5 мин.

Для получения экспериментальных спектров пропускания используется активный метод дистанционного зондирования. В качестве источника применяется зеркальный излучатель с высокотемпературным нагревательным элементом. Протяженность трассы измерений составляет 200–400 м.

Приближенные значения нижнего предела обнаружения относительной концентрации (относительно CO_2) некоторых газов следующие: CO , CH_4 , NO_2 – $6 \cdot 10^{-5}$; NH_3 – $6 \cdot 10^{-6}$; SO_2 – 10^{-4} ; N_2O – $5 \cdot 10^{-3}$; HNO_3 – $5 \cdot 10^{-7}$.

ШКОЛА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Председатель: проф. Ю.М. Тимофеев (СПбГУ, Санкт-Петербург)

Россия и глобальное потепление климата

Кароль И.Л. (karol@main.mgo.rssi.ru)

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

1. Современное изменение глобального климата, его характерные особенности и основные причины.
2. Наблюдаемые изменения сезонных распределений температуры приземного воздуха и осадков по регионам России за 1975–2004 гг.
3. Модели глобального и регионального климата Земли, их основные составляющие и их использование для анализа и прогноза эволюции элементов климата и климатоформирующих факторов.
4. Сценарии ожидаемых антропогенных выбросов парниковых газов, аэрозолей и других радиационно активных факторов в 21 веке.
5. Ожидаемые изменения режима сезонных и годовых температуры, осадков и гидрологических элементов по ряду речных бассейнов России в середине и в конце 21 века по глобальной и региональным моделям климата.
6. Основные ожидаемые последствия потепления климата в регионах России и их значение для природы, экономики и населения страны.
7. Политика ряда стран мира и современная позиция науки и руководства России в проблеме изменения климата.
8. Заключение и выводы.

Актуальные задачи исследований атмосферного аэрозоля

Горчаков Г.И.

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

1. Аэрозоль и климат. Влияние аэрозоля на радиационный режим атмосферы. Поглощательная способность аэрозоля.
2. Аэрозоль и облачность. Косвенные эффекты аэрозоля для различных типов облачности.
3. Радиационные характеристики дымов. Сажевый аэрозоль. Состав и свойства задымленной атмосферы при пожарах торфяников.
4. Аэрозоль и процесс опустынивания. Потоки аэрозоля с опустыненных территорий. Электрические процессы в ветропесчанном потоке.
5. Дистанционное зондирование аэрозоля.

Новые результаты исследований ультрафиолетовой радиации

Чубарова Н.Е. (chubarova@imp.kiae.ru)

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

Ультрафиолетовая радиация (УФР) оказывает значительное воздействие на окружающую среду: на наземные и водные экосистемы, протекание фотохимических реакций в атмосфере, различные биогеохимические циклы и на здоровье человека. В то же время глобальные изменения климата и антропогенные воздействия на атмосферу приводят к

значительным вариациям поступления УФ радиации к земной поверхности. Все это определяет большую важность изучения УФР.

В докладе обсуждаются новые результаты в исследованиях УФ радиации, полученные в последние годы на основании экспериментальных и модельных данных. В частности, показаны новые количественные зависимости УФ радиации от различных геофизических параметров: озона, некоторых тропосферных газовых примесей, альbedo поверхности, облачности, разных типов аэрозоля и других характеристик. Наряду с этим описываются последние достижения и еще нерешенные проблемы наземного и спутникового мониторинга УФ радиации. Рассмотрены новые алгоритмы определения УФ радиации по спутниковым данным и реальные погрешности современных методов восстановления УФР из космоса. Приведены данные пространственно-временных закономерностей изменения УФ радиации у земной поверхности. Особое внимание уделено анализу УФ реконструкций в прошлом: методам и результатам, полученным разными авторами. Рассматриваются проблемы, связанные с краткосрочным и долгосрочным прогнозом УФР. В частности, рассмотрены вопросы, связанные с возможностями предсказания уровня УФР в будущем на основе некоторых сценариев глобальных климатических моделей.

Возможности современных численных методов моделирования атмосферной радиации

Фомин Б.А. (b.fomin@mail.ru)

РНИЦ «Курчатовский Институт», пл. И.В. Курчатова 1, 123182 Москва, Россия

Перенос энергии в атмосфере осуществляется как с помощью молекул, так и электромагнитного излучения (радиации). Причем обе эти компоненты переноса, имеющие в своей основе весьма отличающиеся физические процессы, обычно не только сравнимы по величине, но и имеют тенденцию компенсировать друг друга для поддержания примерного баланса энергии в атмосфере. Эти компоненты всегда действуют одновременно, что крайне затрудняет их экспериментальное изучение непосредственно в атмосфере. Поэтому как для самой науки, так и для её практических приложений (прогноз погоды и климата, мониторинг атмосферы и земной поверхности из космоса и т.п.), фактом принципиального значения является качественный недавний прогресс в теории переноса атмосферной радиации – т.е. в изучении второй компоненты. Этот прогресс обусловлен успехами молекулярной спектроскопии и развитием вычислительной техники, а также разработке мощных численных методов моделирования атмосферной радиации, которые и будут рассмотрены в докладе. Так в докладе будут рассмотрены и продемонстрированы (на обычном ноутбуке) методы:

- "точного" учёта сотен тысяч линий поглощения атмосферных газов полинейным методом;
- описания рассеяния радиации сферическими аэрозольными частицами и каплями с помощью ряда Ми и приближения геометрической оптики;
- моделирования переноса тепловой и солнечной радиации в чистой атмосфере, а также с "точным" учётом рассеяния в облаках и аэрозоле методом Монте-Карло;
- параметризации атмосферной радиации.

При этом основной целью доклада будет именно демонстрация того, как в настоящее время исследователь с помощью обычной техники имеет возможность достаточно легко во всех деталях моделировать лучистый теплообмен атмосферы (по крайней мере, горизонтально однородной). Также в докладе будут продемонстрированы возможности "точного" моделирования натуральных экспериментов, основанных на методах атмосферной спектроскопии, включая эксперименты по зондированию атмосферы из космоса.

В конце доклада будут обсуждены актуальные проблемы физики атмосферы особенно перспективные, по мнению автора, для молодых специалистов.

Затменные спутниковые методы зондирования атмосферы

Тимофеев Ю.М. (Yu.M.Tim@JT14934.spb.edu)

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

НФ "Международный центр по дистанционному зондированию и окружающей среде", 14 линия В.О. 7а, 199034 Санкт-Петербург, Россия

Дана классификация современных спутниковых методов зондирования параметров атмосферы и поверхности. Рассмотрены основные преимущества и недостатки пассивных и активных методов зондирования различных характеристик окружающей среды.

Обсуждаются особенности пассивных затменных методов зондирования атмосферы при использовании излучения Солнца, отраженного от Луны солнечного излучения и звезд. Подробно рассмотрены преимущества и недостатки затменных методов зондирования. Дан обзор основных характеристик спутниковой аппаратуры затненного зондирования – приборы SAM II, SAGE I, SAGE II, SAGE III, ATMOS, HALOE, Озон-Мир, POAM II, III, SCIAMACHY, GOMOS, ACE и т.д.

Рассмотрены физико-математические основы методов затненного зондирования для определения вертикальных профилей характеристик газового и аэрозольного состава атмосферы, температуры, заселенностей возбужденных состояний молекул, микрофизики облаков и аэрозолей.

Рассмотрены основные принципы численного моделирования спутниковых экспериментов и анализа потенциальной точности восстановления параметров атмосферы. Кратко описаны системы обработки измерений приборов Озон-Мир и SAGE III. Приведены примеры восстановления различных параметров атмосферы и анализ реальной точности дистанционного зондирования на основе сопоставления с независимыми измерениями.

Обсуждаются примеры решения научных и прикладных задач с помощью результатов затненного зондирования – изучение пространственно-временных вариаций содержания озона и других газов, долговременных трендов в содержании газов, динамики атмосферы, оптических и микрофизических характеристик облаков и аэрозолей и т.д.

Использование данных спутниковых ИК-зондировщиков высокого спектрального разрешения в метеорологии и климатологии

Успенский А.Б. (Uspensky@planet.iitp.ru)

Научно-исследовательский центр "Планета", Б. Предтеченский пер. 7, 123242 Москва, Россия

Ограниченная информативность измерений современных спутниковых ИК-зондировщиков атмосферы типа HIRS/2, 3, входящих в состав аппаратуры ATOVS спутников серии NOAA стимулировала работы по созданию зондирующей аппаратуры следующего поколения – высокого спектрального разрешения. В докладе сделан обзор отечественной и зарубежных программ развития систем атмосферного зондирования с полярно-орбитальных и геостационарных платформ на базе ИК аппаратуры повышенного спектрального разрешения ИКФС (Роскосмос, Россия), AIRS, CrIS (США, NASA, NOAA), IASI (Eumetsat), GIFTS (США, NASA).

Выполнен сравнительный анализ информационного содержания данных измерений будущих ИК зондировщиков применительно к решению основных задач, возлагаемых на метеоспутники, а именно – получению данных о параметрах атмосферы и подстилающей поверхности требуемой точности и достоверности. К числу наиболее важных спутниковых информационных продуктов относятся вертикальные профили температуры, влажности, концентрации озона и малых газовых составляющих в атмосфере, оценки параметров облачного покрова, температура и излучательная способность подстилающей поверхности,

данные о содержании тропосферных малых газовых компонент (все данные – регионального и глобального покрытия).

Представлен обзор методов и алгоритмов анализа и тематической обработки измерений указанных зондировщиков, позволяющих выполнять сжатие и моделирование исходных данных, восстанавливать профили температуры, влажности и озона в атмосфере, оценивать содержание малых газовых составляющих, определять температуру подстилающей поверхности, детектировать облачность в поле зрения прибора. Изложение иллюстрируется примерами апробации предложенных алгоритмов тематической обработки на моделированных и реальных спутниковых данных. Сформулированы задачи, связанные с алгоритмами тематической обработки, которые требуют дополнительных исследований. Рассмотрены также задачи создания отечественной системы атмосферного зондирования на базе КА "Метеор-М"(аппаратура ИКФС и микроволновый зондировщик МТВЗА).

Авторский указатель

Абакумова Г.М.	42, 43, 45	Гераимчук М.Д.	143
Абдуллаев Х.М.	46, 47	Гинзбург А.С.	53
Акимов Д.	119	Голикова Е.В.	121
Акимова Е.Н.	84	Голованов С.Н.	74
Алленов М.И.	122, 137	Головин Ю.М.	113, 138
Андреева Е.С.	7	Гольдберг Р.А.	7
Аникин П.П.	67, 116	Гончаров С.Н.	123
Анисимова О.М.	79	Горбаренко Е.В.	42, 43, 45
Анискина О.Г.	104	Горбунов Г.Г.	138
Арефьев В.Н.	110, 112, 125	Гордли Л.Л.	7
Аушев В.М.	121	Городецкий А.К.	113, 138
Афонин С.В.	90	Горчаков Г.И.	56, 57, 149
Ахмедов Р.Р.	120	Горчакова И.А.	67
Бабина О.И.	104	Гречко Е.И.	111, 112
Балдина Е.А.	30, 49	Грибанов К.Г.	83, 84, 85
Баранова Е.Л.	111	Грязин В.И.	69, 99
Басс Л.П.	11, 24	Гусев О.А.	23
Бедрин А.Г.	80	Гусейнов Г.А.	94, 124
Белан Б.Д.	29	Гутайл Ф.	86
Беликов Д.А.	134	Гущин Г.К.	58
Белов В.В.	90	Дементьев Б.В.	141
Белоголов В.С.	132, 133	Десятов А.В.	113, 138
Береснев С.А.	69, 99	Джола А.В.	111, 112
Бешменев А.С.	141	Дмитриева-Арраго Л.Р.	63, 131
Бирюков В.Г.	122	Довгалюк Ю.А.	89
Блойтен В.	83	Докукина Т.А.	61
Бобылев Л.П.	95, 96	Дюкарев Е.А.	83
Богданова Ю.В.	130	Егоров А.Д.	143
Борисова Н.Ф.	80	Ежевская Т.Б.	147
Божков В.Г.	139	Елисеев А.А.	39
Бокатович Б.Б.	74	Емиленко А.С.	56
Будак В.П.	12, 13, 14, 16	Ермаков В.И.	56
Будовый В.И.	132, 133	Ерохина А.Е.	27, 143, 146
Быков А.Д.	76	Есепкина Н.А.	139
Бычкова А.П.	27, 140	Житницкий Е.А.	147
Васильев Ю.В.	59	Журавлев А.Г.	144
Васин В.В.	84	Журавлева Т.Б.	64, 73, 128
Виролайнен Я.А.	100, 102, 114, 127, 141	Заболотских Е.В.	95
Владимирова Е.В.	25	Завелевич Ф.С.	113, 138
Власенко С.С.	62, 72	Захаров В.И.	7, 83, 84, 85
Волкова Е.В.	103, 117	Иванов А.П.	5
Волкович А.Н.	25	Иванов В.Н.	122, 137
Вольвач В.В.	122	Иванов Ю.С.	147
Воронин В.А.	144	Иванова Н.	119
Воронина Ю.В.	73	Игнатьев А.Н.	108, 107, 139
Вражнов Д.А.	134	Илюшин Я.А.	21, 96
Галилейский В.П.	147	Имасу Р.	83, 85
Геогджаев И.	58	Ионов В.В.	92
		Ионов Д.В.	86, 123

Исаков А.А.	56, 57	Кушнарченко А.В.	62
Йоханнессен О.М.	96	Лаврентьев Н.А.	134
Кабанов Д.М.	59, 68	Ланкин Ю.П.	93
Кабашников В.П.	5	Левин И.М.	119, 126
Казбанов В.А.	75, 76	Логвиненко С.В.	139
Каменогградский Н.Е.	110	Лубенченко А.В.	21
Каргин А.Б.	18	Лукин А.Б.	27, 40
Каргин Б.А.	18	Лукин А.Н.	107, 108, 139
Кароль И.Л.	36, 149	Луцько Л.В.	27, 140, 146
Карпов А.В.	56, 57	Лыков А.Д.	140
Катков В.Л.	5	Макарова М.В.	112, 125
Катцов В.М.	131	Макарова Т.А.	105, 128
Кашин Ф.В.	110, 111, 112, 125	Максакова С.В.	25
Киселев А.А.	36	Мангул И.Д.	31
Киселев В.Б.	20	Мангул С.И.	31
Киселёв М.Б.	74	Мануйлова Р.О.	77
Киселева М.С.	75, 76	Маричев В.Н.	62
Китай Ш.Д.	23	Маслов И.А.	116
Коваленко В.А.	122	Махоткина Е.Л.	27, 40, 52
Кожарин М.А.	7	Мацицкий Ю.П.	113, 138
Козлов В.С.	61, 66	Меглинский И.В.	18
Козодоев А.В.	73, 76	Медведев В.А.	132, 133
Козодоева Е.М.	73	Меламед О.П.	14
Кокорин А.М.	65	Мельникова И.Н.	11
Колеватов А.С.	147	Мирвис В.М.	52
Кондратюк В.И.	137	Мирзоева Л.А.	75, 76
Копейкин В.М.	56, 57, 69	Митин И.В.	17
Коркин С.В.	13	Митник Л.М.	95
Коросов А.А.	92, 105	Михайлов Е.Ф.	62, 72
Косцов В.С.	6, 101	Мишина К.А.	127
Кочнева Л.Б.	69	Мищенко М.	58
Крамарова Н.А.	35	Мороженко А.В.	73, 143
Крамчанинова Е.К.	91	Мохов И.И.	71
Красовский А.Н.	5	Музылев Е.Л.	117
Кратенко А.Ю.	46, 47	Набиев Ш.Ш.	147
Кропоткина Е.П.	107, 108, 139	Насретдинов И.М.	128
Круглов С.К.	139	Неводовский Е.П.	143
Кугушев Г.А.	144	Неводовский П.В.	143
Кудрявцев В.Н.	105, 119	Неделкова М.И.	31
Кузнецов В.С.	11, 24	Незваль Е.И.	34, 45
Кузнецов Г.И.	35	Нерушев А.Ф.	91, 98
Кузьмин В.Л.	18	Нестеров И.А.	7, 121
Кузьмин С.В.	141, 144	Никифоров П.Л.	139
Кулешова В.А.	77, 80	Николаев А.И.	141
Куликов А.К.	25	Николаева О.В.	11, 24
Куницын В.Е.	7, 21, 89, 120, 121	Николешкин С.В.	62
Кунцевич К.П.	40	Никольский Г.А.	38
Купреев А.В.	54	Никулин А.Г.	113, 138, 145
Курбаткин В.П.	42	Новиков П.В.	62
Кутепов А.А.	7, 23	Новиков Н.Н.	122
Кутуза Б.Г.	106	Образцов С.П.	129
Кухарский А.В.	82	Овсянников Д.А.	105, 128

Овчинникова Е.Н.	111	Савельева Н.В.	89
Огибалов В.П.	135	Савченко В.В.	126
Олемской И.В.	77	Саенко И.И.	139
Орлова Т.Н.	51	Сакаш И.Ю.	93
Осадчий В.Ю.	126	Сакерин С.М.	59, 68, 73, 128
Осипов В.М.	80	Свириденков М.А.	56, 67, 116
Осипов С.И.	125	Селезнева О.Н.	96
Охлопков В.П.	56	Семакин С.Г.	79
Ошарина Н.Н.	23	Семенов А.О.	37, 77
Панкратова Н.В.	52	Семенов В.К.	86, 110, 125
Панченко М.В.	61, 66	Семенов Е.А.	141
Парфенова Н.К.	63	Семенов Е.А.	144
Пезнелл У.Д.	7	Сибир Е.Е.	109
Пересторонина Г.Я.	84	Сизов Н.И.	111, 125
Перфильев В.И.	139	Синельникова Г.Е.	75, 76
Петрушин А.Г.	60	Синькевич А.А.	89
Пивоварова Л.В.	89	Синявский И.И.	147
Пирогов Ю.А.	139	Синяков В.П.	86, 110, 125
Пичугин Ю.А.	89	Скляднева Т.К.	29, 64
Пичугина И.П.	89	Смирнов С.В.	64
Плахина И.Н.	52	Смоктий О.И.	94, 124
Поберовский А.В.	112, 123, 125	Соколенко С.А.	140
Поздняков Д.В.	92, 105, 128	Соколов К.С.	16
Покровский И.О.	36	Соловьев В.А.	54
Поляков А.В.	79, 87, 88, 99, 100, 102, 114, 141	Соловьев В.И.	91
Поммеро Ж.-П.	86	Соломатов Д.В.	90
Постыляков О.В.	17	Соломонов С.В.	107, 108, 139
Потапова И.А.	143	Сосонкин М.Г.	147
Потехин И.Ю.	79	Спорышев П.В.	131
Привалов В.И.	39	Старцева З.П.	117
Привезенцев А.И.	73, 76	Старченко А.В.	134
Пригарин С.М.	18	Стожков Ю.И.	56
Радионов В.Ф.	109	Стрелков С.А.	25
Радомысльская Т.М.	119	Сулейменов И.Э.	78, 121
Ракитин А.В.	101, 111	Сураев С.Н.	120
Расселл Д.М., III-й	7	Сушкевич Т.А.	25
Рассказчикова Т.М.	64	Сыпченко Л.Ю.	31
Решетникова И.Н.	75, 76	Тарасова Т.А.	67
Ржонсницкая Ю.Б.	143	Тереб Н.В.	98
Роговцев П.Н.	80	Терез Г.А.	58
Роговцов Н.Н.	18	Терез Э.И.	58
Родимова О.Б.	130	Теренецкая И.П.	33, 51
Розанов С.Б.	107, 108, 139	Терещенко Е.Д.	7
Романов К.Ю.	77	Терпугова С.А.	61
Романов С.В.	53	Тимерханова Л.Ю.	84
Романовский А.С.	138	Тимофеев Ю.М.	79, 86, 87, 88, 99, 100, 102, 114, 151
Ромашова Е.В.	67, 116	Тонков М.В.	76
Русина Е.Н.	109	Топтыгин А.Ю.	83, 85
Руховец Л.А.	92	Третьяков М.Ю.	76
Рыбаков Ю.В.	106, 144	Третьяков Н.Д.	122, 137
Рыбченко Л.С.	28, 50	Троицкий А.В.	23, 115

Турыгин С.Ю.	139	Янковский В.А.	77, 80
Уваров Н.В.	93	Яушева Е.П.	61, 66
Угольников О.С.	116	Aculinin A.A.	9
Ульяненко А.В.	57	Bovensmann H.	82
Успенский А.Б.	82, 103, 117, 151	Bracher A.	82
Фазлиев А.З.	76, 134	Burrows J.P.	82, 83
Феофилов А.Г.	7, 23	Chaikovsky A.P.	9
Филиппов Н.Н.	76	Chubarova N.Ye.	9
Фирсов К.М.	73, 128	Egorova T.	87
Фокеева Е.В.	111	Eichmann K.-U.	82
Фомин Б.А.	8, 17, 53, 144, 147, 150	Heckel A.	82
Форменканов Т.А.	121	Holben B.N.	9
Фролькис В.А.	36	Karner O.	9
Хворостовская Л.Э.	79	Kokhanovsky A.	83
Хворостовский К.С.	96	Kopelevich O.V.	9
Холбен Б.	41	Korotaev G.K.	9
Хорозов С.В.	132, 133	Martin I.M.	132, 133
Чавро А.И.	93	Memarian M.H.	131
Чайка А.М.	87, 88	Mir Rokni S.M.	63
Чайка А.Н.	45	Panchenko M.V.	9
Чайковский А.П.	5	Pavlov V.E.	9
Черемисин А.А.	59, 62	Radionov V.F.	9
Черкасов А.А.	38	Rohen G.	82
Чернокульский А.В.	71	Rozanov A.	82, 100
Чечин Л.М.	78	Rozanov E.	87
Чубарова Н.Е.	33, 34, 41, 43, 149	Rozanov V.	83, 100
Чурмаков Д.Ю.	18	Sakerin S.M.	9
Шаламянский А.М.	86, 109	Scharringhausen M.	82
Шалина Е.В.	104	Schmutz W.	87
Шараев Г.А.	41	Schraner M.	87
Шатунова М.В.	63	Sheode N.	82
Швед Г.М.	37	Sinnhuber B.-M.	82
Шилин Н.В.	141	Sinnhuber M.	82
Шиловцева О.А.	30, 45, 49	Smirnov A.	9
Шмидт Г.	85	Sukhinin A.I.	9
Шнипов И.С.	59	von Savigny C.	82
Штанюк А.М.	139	Vountas M.	83
Шульц Э.О.	38		
Щукин Г.Г.	106, 129		